



**João Miguel Silva Rego Marques**

Licenciado em Ciências da Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

## **Mercados Liberalizados de Energia Elétrica: Contratos Padronizados de Futuros**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Eletrotécnica e de Computadores**

Orientador: Professor Doutor, Fernando Jorge Ferreira Lopes,  
Laboratório Nacional de Energia e Geologia  
Co-orientadora: Professora Doutora, Anabela Monteiro Gonçalves  
Pronto, Faculdade de Ciências e Tecnologia  
da Universidade Nova de Lisboa

Júri

Presidente: Doutor André Teixeira Bento Damas Moura (FCT/UNL)  
Arguente: Doutor Rui Alexandre Nunes Neves da Silva (FCT/UNL)  
Vogal: Doutor Fernando Jorge Ferreira Lopes (LNEG)



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março, 2018**



## **Mercados Liberalizados de Energia Elétrica: Contratos Padronizados de Futuros**

Copyright © João Miguel Silva Rego Marques, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*Aos meus pais e ao meu irmão.*



## AGRADECIMENTOS

A realização da presente dissertação de mestrado contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não teria sido possível e aos quais estarei eternamente agradecido.

Ao Doutor Fernando Lopes, pela suas suas recomendações, disponibilidade, opiniões. A sua orientação foi fundamental para a realização do presente documento.

À Professora Anabela Pronto, pela sua orientação, disponibilidade, apoio e conhecimento partilhados durante todo o meu percurso académico como minha professora, bem como durante o trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação e pela oportunidade que me foi dada.

Ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia, por me ter recebido e disponibilizado as suas instalações para o desenvolvimento do meu trabalho.

À Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa pelas instalações que me permitiram trabalhar ao longo dos anos e aos docentes, pela participação e colaboração ao longo de todo o meu percurso académico.

Ao Engenheiro Jorge Simão, do OMIP, por se ter disponibilizado a prestar o apoio fundamental e necessário com o âmbito de esclarecer todas as dúvidas pertinentes de foro mais técnico relacionadas com o tema da presente dissertação.

Ao meu amigo e companheiro Fábio Xavier pelas longas noites de estudo, apoio, incentivo e principalmente pela enorme camaradagem demonstrada. Agradeço também a todos os restantes colegas e amigos que me acompanharam durante o meu percurso académico e pessoal durante todos estes anos.

Por fim, agradeço às pessoas sem as quais nada disto seria possível. À grande Mulher que tem estado ao meu lado e que esteve sempre presente nos bons e maus momentos durante o desenvolvimento da presente dissertação, Cláudia Rodrigues, obrigado pelo apoio, amor e carinho. Um enorme agradecimento aos meus maiores exemplos, os meus pais, Fernando Marques e Maria do Céu Marques, por todo o seu amor, apoio e incentivo desde sempre, e por estarem sempre presentes quando mais preciso e por tudo o que fizeram por mim. Ao meu melhor amigo e Irmão Pedro Marques, por estar sempre presente em todos os momentos, e sempre com uma palavra de incentivo e amizade.

A todos os que contribuíram, o meu muito obrigado!





## RESUMO

---

A consciencialização de uma estrutura vertical, essencialmente monopolista, para o sector de energia elétrica originou o processo de liberalização do mesmo, promovendo uma crescente competitividade económica. Esta Liberalização foi desencadeada com a implementação de concorrência aberta nos sectores de comercialização e produção de energia elétrica, multiplicando-se naturalmente a criação de novas entidades participantes nesses sectores.

Atualmente, o Mercado Ibérico de Eletricidade ([MIBEL](#)) permite a comercialização de energia elétrica através de dois mercados distintos, nomeadamente o mercado diário e o mercado a prazo. Considerando a elevada flutuação de preços praticados no mercado diário, os agentes contratantes têm procurado cada vez mais a modalidade de contratação bilateral, de modo a evitarem a exposição aos riscos financeiros inerentes ao mercado diário. De entre os contratos bilaterais negociados no Operador do Mercado Ibérico de Energia - Polo Português, S.A. ([OMIP](#)), os derivados mais transacionados, por isso mais comuns, são os Contratos de Futuros. A padronização dos termos é uma característica preponderante para este tipo de contrato, visto aumentar a sua liquidez.

Neste contexto, a presente dissertação tem como principais objetivos estudar os contratos padronizados em mercados de energia elétrica, com ênfase para os contratos de futuros, e desenvolver um simulador multi-agente que permita a simulação da dinâmica de negociação dos contratos de futuros, com o objetivo de ser uma ferramenta útil no apoio à decisão. Para melhor compreender o impacto deste tipo de contratos no mercado de energia, foram desenvolvidos casos de estudo utilizando dados reais, e com o recurso ao simulador multi-agente foram analisados os benefícios deste tipo de contratação. Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que a negociação do preço neste tipo de contratos assume um papel importante para a obtenção de um bom acordo e que os contratos de futuros podem ser benéficos para ambos os agentes participantes.

**Palavras-chave:** Mercado de Energia Elétrica, Contratação Bilateral, Contratos de Futuros, Contratos Padronizados, Sistemas Multi-Agente, Gestão de Risco.

---



## ABSTRACT

---

The awareness of a vertical, monopolist, structure for the electric energy sector originated the process of its liberalization, promoting an increased effectiveness and economic competitiveness. This competitiveness was triggered by the implementation of open competition in the sectors of commercialization and production of electricity, leading naturally to new entities participating in these sectors.

The Iberian Electricity Market allows the trade of electricity through two distinct markets, the Spot market and the derivatives market. Market participants have increasingly sought bilateral contracts to avoid exposure to the financial risks caused by high price fluctuations and the unpredictability of the Spot market. Futures contracts are the most traded and common contracts in the *Operador do Mercado Ibérico de Energia - Polo Português*, S.A. (OMIP). The standardization of such terms of the contract is a preponderant characteristic, increasing its liquidity.

In this context, the main objective of this Thesis consists of studying standardized contracts in electricity markets, in particular futures contracts, and to develop a multi-agent simulator that allows the simulation of the dynamics of futures contracts in the stock market, with the objective of being a useful decision-support tool.

Case studies have been developed using real data to better understand the impact of this type of contracts in the energy market. The results of the case studies were obtained using the multi-agent simulator. Based on the results, it can be stated that price negotiation plays an important role in contracting, particularly in the process of obtaining a good agreement, and that futures contracts can be beneficial to both participating agents (i.e., sellers and buyers).

**Keywords:** Electricity Market, Bilateral Contracts, Futures Contracts, Standardized Contracts, Multi-Agent Systems, Risk Management.

---



# ÍNDICE

<b>Lista de Figuras</b>	<b>xv</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xvii</b>
<b>Glossário</b>	<b>xix</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento e Motivações . . . . .	2
1.2 Principais objetivos . . . . .	4
1.3 Contribuições . . . . .	4
1.4 Estrutura da Dissertação . . . . .	5
<b>2 Mercados de Energia Elétrica</b>	<b>7</b>
2.1 Sector Elétrico em Portugal . . . . .	8
2.2 Modelos de Mercado de Eletricidade . . . . .	13
2.2.1 Modelo em Bolsa ( <i>Pool</i> ) . . . . .	14
2.2.2 Modelo de Contratos Bilaterais . . . . .	16
2.2.3 Modelo Misto . . . . .	17
2.3 Contratos Bilaterais Físicos . . . . .	19
2.4 Contratos Bilaterais de Tipo Financeiro . . . . .	20
2.4.1 Contratos <i>Forward</i> . . . . .	21
2.4.2 Contratos de Futuros . . . . .	22
2.4.3 Contratos de Opções . . . . .	23
2.4.4 Contrato por Diferenças (CfD) ou <i>Swap</i> . . . . .	25
2.5 MIBEL – Mercado Ibérico de Eletricidade . . . . .	26
2.5.1 Mercado Diário . . . . .	30
2.5.2 Mercado Intradiário ou Mercado de Ajustes . . . . .	32
2.5.3 Mercado a Prazo . . . . .	34
<b>3 Agentes Computacionais Autónomos e Sistemas Inteligentes</b>	<b>37</b>
3.1 Sistemas Multi-Agente . . . . .	38
3.1.1 Agentes Computacionais Autónomos . . . . .	39
3.1.2 Plataformas Computacionais para SMA . . . . .	41

3.2	Simuladores Multi-Agente de Mercados de Eletricidade . . . . .	43
3.2.1	<i>Electric Market Complex Adaptive System</i> . . . . .	43
3.2.2	<i>Multi-Agent System that Simulates Competitive Electricity Markets</i> . . . . .	44
3.2.3	<i>Simulator for the Electric Power Industry Agent</i> . . . . .	44
3.2.4	<i>Multi-Agent Trading in Electricity Markets</i> . . . . .	45
<b>4</b>	<b>Contratos Padronizados de Energia: Contratos de Futuros</b>	<b>47</b>
4.1	Introdução . . . . .	48
4.2	Contratos Padronizados: Contratos de Futuros . . . . .	49
<b>5</b>	<b>O Módulo EMS-FC do Simulador MATREM e os Casos de estudo</b>	<b>59</b>
5.1	Módulo EMS-FC . . . . .	60
5.1.1	Interface Gráfica . . . . .	60
5.2	Casos de Estudo . . . . .	69
5.2.1	Considerações Gerais . . . . .	69
5.2.2	Dados dos Contratos de Futuros . . . . .	71
5.3	Simulações e Resultados Experimentais . . . . .	72
5.4	Análise de Resultados . . . . .	74
5.5	Conclusões Gerais . . . . .	79
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>81</b>
6.1	Síntese de Resultados . . . . .	82
6.2	Desenvolvimento Futuro . . . . .	84
	<b>Bibliografia</b>	<b>85</b>
<b>I</b>	<b>Caso de Estudo: Mercado <i>Spot</i></b>	<b>89</b>

## LISTA DE FIGURAS

2.1	Mercado elétrico baseado numa estrutura vertical [9]. . . . .	8
2.2	Transição do regime monopolista para o regime liberalizado [10]. . . . .	10
2.3	Calendarização da abertura do mercado português de energia eléctrica [15].	12
2.4	Cadeia de valor actual do SEN [16]. . . . .	13
2.5	Modelo de exploração do sector elétrico em mercado spot [9]. . . . .	16
2.6	Modelo Misto de exploração do sector elétrico [9]. . . . .	18
2.7	Estrutura corporativa do MIBEL [29]. . . . .	29
2.8	Mecanismo para formação o preço de mercado diário [32]. . . . .	32
2.9	Sessões de funcionamento do mercado intradiário [32]. . . . .	34
4.1	Exemplo da decomposição de contratos ( <i>Cascading</i> ) [49]. . . . .	56
5.1	Janela de interface que exhibe as ofertas submetidas pelos agentes. . . . .	61
5.2	Janela inicial destinada à seleção de especificações de uma nova oferta. . . .	63
5.3	Janela para seleção de especificações e de inserção de uma nova oferta. . . .	63
5.4	Quadro do Mercado de Futuros, onde são exibidas todas as ofertas submetidas por todos os agentes. . . . .	65
5.5	Janela de interface que exhibe os contratos dos agentes. . . . .	66
5.6	Janela de interface onde o utilizador por visualizar todos os detalhes de um contrato. . . . .	67
5.7	Janela de interface onde são representados graficamente os valores de referên- cia de um contrato. . . . .	68
5.8	Janela de interface onde são apresentados valores de compensação entre agen- tes de um contrato. . . . .	69
5.9	Janela de interface onde são apresentados valores de compensação entre agen- tes de um contrato. . . . .	70





## LISTA DE TABELAS

5.1	Dados dos Contratos com Períodos de Entrega Semanais. . . . .	71
5.2	Dados dos Contratos com Períodos de Entrega Mensais. . . . .	72
5.3	Dados dos Contratos com Períodos de Entrega Trimestrais. . . . .	72
5.4	Dados dos Contratos com Períodos de Entrega Anuais. . . . .	72
5.5	Ganhos dos Contratos de Futuros Semanais. . . . .	73
5.6	Ganhos dos Contratos de Futuros Mensais. . . . .	73
5.7	Ganhos dos Contratos de Futuros Trimestrais. . . . .	73
5.8	Ganhos dos Contratos de Futuros Anuais. . . . .	74
5.9	Comparação da média dos preços praticados no mercado Spot vs preços acordados para os contratos de futuros para períodos semanais. . . . .	74
5.10	Comparação da média dos preços praticados no mercado Spot vs preços acordados para os contratos de futuros para períodos mensais. . . . .	75
5.11	Comparação da média dos preços praticados no mercado Spot vs preços acordados para os contratos de futuros para períodos trimestrais. . . . .	75
5.12	Comparação da média dos preços praticados no mercado Spot vs preços acordados para os contratos de futuros para períodos anuais. . . . .	76
5.13	Comparação económica entre ganhos obtidos no mercado <i>Spot</i> e a celebração de Contratos Futuros para períodos semanais. . . . .	76
5.14	Comparação económica entre ganhos obtidos no mercado <i>Spot</i> e a celebração de Contratos Futuros para períodos mensais. . . . .	77
5.15	Comparação económica entre ganhos obtidos no mercado <i>Spot</i> e a celebração de Contratos Futuros para períodos trimestrais. . . . .	77
5.16	Comparação económica entre ganhos obtidos no mercado <i>Spot</i> e a celebração de Contratos Futuros para períodos trimestrais. . . . .	78
I.1	Dados dos Preços praticados no Mercado <i>Spot</i> para as Semanas indicadas. . .	89
I.2	Dados dos Preços praticados no Mercado <i>Spot</i> para os Meses indicados. . . .	89
I.3	Dados dos Preços praticados no Mercado <i>Spot</i> para os Trimestres indicados. .	90
I.4	Dados dos Preços praticados no Mercado <i>Spot</i> para o ano de 2016. . . . .	90



## GLOSSÁRIO

CET	<i>Central European Time.</i>
CfD	<i>Contracts for Difference.</i>
CMVM	Comissão do Mercado de Valores Mobiliários.
CNE	<i>Comisión Nacional de Energía.</i>
CNMV	<i>Comisión Nacional del Mercado de Valores.</i>
EDP	Electricidade de Portugal.
EMCAS	<i>Electricity Market Complex Adaptive System.</i>
EMS-FC	<i>Electricity Market Simulator – Futures Contracts.</i>
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.
FIPA	<i>Foundation for Intelligent Physical Agents.</i>
GECAD	Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão.
HOE	Hora Legal Espanhola.
ICL	<i>Interagent Communication Language.</i>
ISO	<i>Independent System Operator.</i>
JADE	<i>Java Agent Development Framework.</i>
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia.
MANREM	Negociação Multi-Agente e Gestão de Risco em Mercados de Energia Elétrica.
MASCEM	<i>Multi-agent Simulator for Competitive Electricity Markets.</i>
MATREM	<i>Multi-Agent Trading in Electricity Markets.</i>
MEs	Mercados de Eletricidade.

## GLOSSÁRIO

---

MIBEL	Mercado Ibérico de Eletricidade.
ML	Mercado Livre.
MR	Mercado Regulado.
OAA	<i>Open Agent Architecture.</i>
OM	Operador de Mercado.
OMEL	<i>Operador del Mercado Ibérico de Energía, Polo Español, S.A..</i>
OMI	Operador do Mercado Ibérico.
OMIClear	Sociedade de Compensação de Mercados de Energia, Sociedade Gestora da Câmara de Compensação com assunção de Contraparte Central, S.A..
OMIE	<i>Operador del Mercado Ibérico de Energía - Pólo Espanhol, S.A..</i>
OMIP	Operador do Mercado Ibérico de Energia - Polo Português , S.A..
OS	Operador de Sistema.
OTC	<i>Over-The-Counter.</i>
OTF	<i>Organized Trading Facilities.</i>
PRN	Preço de Referência de Negociação.
PRS	Preço de Referência <i>Spot</i> .
REE	<i>Red Eléctrica de Espanã.</i>
REN	Redes Energéticas Nacionais.
REPAST	<i>Recursive Porous Agent Simlutation Toolkit.</i>
RND	Rede Nacional de Distribuição.
RNT	Rede Nacional de Transporte.
SEN	Sistema Elétrico Nacional.
SEPIA	<i>Simulator for the Electric Power Industry Agent.</i>
SMA	Sistema Multi-Agente.
TARGET	<i>TransEuropean Automated Real-Time Gross settlement Express Transfer.</i>
UDN	Último Dia de Negociação.
UE	União Europeia.
VLE	Valor de Liquidação na Entrega.

## INTRODUÇÃO

O presente capítulo descreve o enquadramento e o desenvolvimento da presente dissertação, abordando as motivações que estiveram na base do trabalho, apresentando os principais objetivos, as contribuições científicas e, por último, a estrutura global da dissertação.

### 1.1 Enquadramento e Motivações

Durante as últimas décadas, o sector elétrico tem sofrido uma profunda evolução, onde se tem verificado constantes mudanças e reestruturações, tal como tem sucedido em vários sectores socioeconómicos, muito por influência de vários acontecimentos marcantes de cariz político e económico. A reforma do sector elétrico teve como objetivo o abandono de práticas tidas como pouco eficientes e que poderiam trazer custos inapropriados para os consumidores, tentando introduzir de forma progressiva mecanismos que proporcionassem ao sector uma maior competitividade, uma maior segurança e acrescida flexibilidade.

Dada a manifesta preponderância em toda a economia mundial e a nível social do sector elétrico, a sua reestruturação envolveu uma elevada complexidade e ponderada reflexão, de modo a torná-la adequada e ajustada à realidade, que tem características bastante específicas quando comparadas com especificações de outros sectores.

Antes da reestruturação, o sector elétrico era composto por uma estrutura baseada na existência de monopólios naturais detidos por entidades estatais que geriam as principais atividades, integrando a produção, transporte, distribuição e comercialização. A gestão vertical feita por estas entidades não apresentava qualquer competitividade. Esta falta de competitividade no sector originava uma ineficiência económica.

A crescente consciencialização de que o modelo em vigor era inadequado, bem como uma sensibilização gradual relativamente a questões ambientais cada vez mais relevantes, originaram uma alteração deste modelo clássico a nível mundial, abandonando-se assim o modelo de estrutura vertical, e iniciando-se uma reestruturação baseada na liberalização das atividades de produção e comercialização.

Durante a década de 90, recomendações de Diretivas da Comissão Europeia fizeram com que o Governo Português traçasse objetivos para o sector de energia elétrica, procurando aumentar a preocupação ambiental, promover a competitividade e aumentar significativamente as fontes de produção de energia. Estes esforços desencadearam a criação do Mercado Ibérico de Eletricidade ([MIBEL](#)), criado pelos Governos de Portugal e Espanha.

A liberalização do sector elétrico em Portugal possibilitou o aumento do número de empresas participantes na produção e comercialização, colocou novos desafios a todos os agentes intervenientes e permitiu que todos os consumidores finais tenham a possibilidade de escolher livremente o seu comercializador de energia elétrica. Os sectores de transporte e distribuição continuam a ser explorados por entidades únicas, a Rede Elétrica Nacional, S.A. ([REN](#)) e [EDP](#) Distribuição, respetivamente.

No mercado grossista, pode-se adquirir energia de duas maneiras distintas: através do mercado em bolsa e através de contratos bilaterais. No mercado em bolsa, o preço da energia é obtido através da intersecção das curvas de oferta e de procura. Estas curvas são definidas através de licitações submetidas por produtores, retalhistas e consumidores, que pretendam adquirir ou vender energia elétrica. Os contratos bilaterais são contratos estabelecidos pelos agentes participantes atendendo às suas necessidades e preferências, procurando diminuir a sua exposição ao risco face à enorme volatilidade do preço da energia elétrica que poderá ocorrer no mercado em bolsa.

No mercado retalhista, os consumidores escolhem livremente o seu comercializador de energia e celebram entre si um contrato bilateral. Este processo confere um poder de decisão bastante vantajoso a todos os agentes participantes, podendo de forma livre optar pelas diversas oportunidades que o mercado lhe oferece, o que confere um enorme interesse económico ao sector elétrico, bastante apetecível a vários agentes económicos.

Os principais contratos bilaterais existentes são os Contratos *Forward*, os Contratos de Opções, os Contratos de Futuros e os Contratos por Diferenças. Estes diferem entre si pelas suas características próprias, e pela forma como lidam com a exposição ao risco associado à volatilidade do preço da energia elétrica.

A presente dissertação diz respeito aos contratos bilaterais padronizados, nomeadamente aos Contratos de Futuros. Os contratos de Futuros são contratos padronizados negociados em mercado em bolsa, de compra ou venda de energia elétrica em quantidade e qualidade padronizadas, em local pré-estabelecido, em data futura ou durante um período de tempo pré-determinado e a um preço fixado pelas duas partes [1].

Os contratos bilaterais assumem um papel fundamental, dada a sua efetividade em diminuir a exposição ao risco inerente ao mercado diário, bem como a possibilidade de os agentes celebrarem acordos que tenham em conta as suas necessidades e os seus próprios interesses. Esta vasta oferta dentro do mercado liberalizado de energia levou a que a complexidade do mesmo aumentasse proporcionalmente. Esta complexidade originou uma procura de ferramentas de apoio à decisão e previsão de preços para todos os agentes envolvidos no mercado. Desta necessidade, surgiram simuladores de mercado baseados em Sistemas Multi-Agente (SMA).

Estes simuladores são sistemas computacionais desenvolvidos com o intuito de simular da forma mais aproximada possível o comportamento dos vários agentes de mercado. A sua utilização é sustentada em agentes computacionais munidos de características autónomas e flexíveis, podendo assim recriar de forma realista a negociação entre os diversos agentes, tendo sempre em consideração as estratégias de negociação, os diversos objetivos na negociação de contratos bilaterais, bem como as suas capacidades de comunicação e

interação no mercado [2].

### 1.2 Principais objetivos

Os principais objetivos da presente dissertação são os seguintes:

- Estudo do mercado de eletricidade, diário e bilateral, com particular incidência para o funcionamento do [MIBEL](#);
- Estudo da dinâmica da contratação bilateral de energia elétrica, bem como o comportamento dos agentes no processo de negociação entre vendedores e consumidores;
- Estudo detalhado do funcionamento dos contratos padronizados, mais especificamente os contratos de futuros, como forma de contratação bilateral em Mercados de Eletricidade ([MEs](#));
- Estudar os sistemas multi-agentes e os agentes autonomos. Estudar o funcionamento do simulador multi-agente [MATREM](#) (referente a "*Multi-Agent Trading in Electricity Markets*") [3, 4], que permite simular o mercado em bolsa [5, 6] e a contratação bilateral de energia [7, 8];
- Estender o simulador MATREM com um módulo que permita a negociação de contratos bilaterais na sua forma padronizada, permitindo aos agentes negociarem este tipo de contratos em mercado organizado, de forma a possibilitar aos seus utilizadores a redução da exposição ao risco face à volatilidade de preços presente nos mercados em bolsa de energia elétrica;
- Desenvolver vários casos práticos referentes ao mercado liberalizado de eletricidade, particularizando um cenário relativo à comercialização de energia elétrica no mercado de retalho, envolvendo a negociação de contratos bilaterais padronizados entre um consumidor e um retalhista, analisando a efetividade deste modelo de contratação.

### 1.3 Contribuições

A presente dissertação, no âmbito da conclusão do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, foi desenvolvida com o apoio do Laboratório Nacional de Energia e Geologia ([LNEG](#)), no seguimento de outras dissertações desenvolvidas ao abrigo do projeto [MANREM](#) - Negociação Multi-agente e Gestão de Risco em Mercados de Energia Elétrica, envolvendo a extensão do simulador [MATREM](#), através do desenvolvimento de um novo módulo designado por o "*Electricity Market Simulator – Futures*



*Contracts*"(EMS-FC), para a contratação bilateral em MEs, nomeadamente os contratos padronizados de Futuros <sup>1</sup>.

As principais contribuições do trabalho desenvolvido no âmbito da presente dissertação são as seguintes:

- Implementação computacional de um novo módulo para simular a dinâmica da negociação de Contratos Futuros, designado genericamente por EMS-FC;
- Desenvolvimento de casos de estudo envolvendo dados reais obtidos a partir do OMIP (Operador do Mercado Ibérico de Energia Português, Sociedade Gestora do Mercado Regulamentado, S.A.), possibilitando verificar e testar o desempenho dos contratos de futuros na contratação bilateral de eletricidade. Os resultados obtidos, com recurso ao módulo desenvolvido, permitiram comparar o desempenho entre a comercialização de energia através de contratos bilaterais e com recursos ao mercado em bolsa (*spot*), contribuindo para uma melhor compreensão da contratação bilateral.
- Detalhar melhor os benefícios dos contratos futuros, de acordo com os resultados do caso de estudo.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está dividida em seis capítulos distintos. O presente capítulo apresenta um breve enquadramento do tema abordado na dissertação, bem como as motivações, os objetivos, as contribuições e a organização global de cada um dos restantes capítulos.

O segundo capítulo descreve o MIBEL, efetuando o seu enquadramento histórico, e apresentando os principais acontecimentos que impulsionaram a sua fundação. Neste capítulo são também abordados os conceitos de cada modelo de contratação, realçando as suas principais vantagens e desvantagens quando utilizados em Mercados de Energia.

O terceiro capítulo aborda os sistemas multi-agentes e as principais especificações relativas à tecnologia de agentes autónomos, destacando a área de simulação dos mercados de energia elétrica. São também abordadas algumas plataformas computacionais anteriormente desenvolvidas, que são bastante utilizadas para a simulação da dinâmica existente nos mercados de energia elétrica.

---

<sup>1</sup>Trabalho realizado no âmbito do projeto MAN-REM (FCOMP-01-0124-FEDER-020397), financiado pelo FEDER através do programa COMPETE- Programa Operacional Temático Fatores de Competitividade e pela FCT- Fundação para a Ciência e Tecnologia.

O quarto capítulo apresenta detalhadamente o modelo de contratação padronizado, o Contrato de Futuros, apresentando as suas principais características e especificações. Esta descrição do funcionamento de contratos de futuros serviu de base à implementação das funcionalidades do novo módulo de negociação de energia elétrica.

O quinto capítulo apresenta o novo módulo [EMS-FC](#), a sua interface gráfica, e as suas funcionalidades e especificações. Estas novas funcionalidades, presentes no simulador [MATREM](#), são aplicadas para desenvolver um caso prático, que envolve a negociação de vários contratos entre um produtor de energia e um comercializador, tendo como objetivo averiguar se este modelo de negociação confere aos agentes uma menor exposição ao risco e é economicamente mais apelativo que outro tipo de modelos de contratação de energia. O capítulo encerra com a apresentação, análise e discussão dos resultados obtidos.

No último capítulo são expostas as principais conclusões extraídas do trabalho realizado e são indicadas várias possibilidades de trabalho futuro inseridas no estudo dos mercados liberalizados de energia elétrica.

## MERCADOS DE ENERGIA ELÉTRICA

O presente capítulo pretende divulgar o atual panorama do Sistema Elétrico Português no seguimento da liberalização implementada no sector. Esta contextualização torna-se necessária tendo em consideração o tema da presente dissertação. Inicialmente é descrito um breve enquadramento histórico do sector elétrico português, bem como do processo de liberalização. De seguida, são identificadas as diversas tipologias de modelos de **MEs** e são apresentadas as várias soluções existentes de contratação bilateral. Na parte final do presente capítulo é feita uma descrição sucinta do **MIBEL**, destacando a sua estrutura, as suas principais características e sendo identificadas as principais responsabilidades de todos os agentes participantes no mercado.

## 2.1 Sector Elétrico em Portugal

O sector elétrico em Portugal tem sido alvo de uma grande reestruturação durante as últimas quatro décadas. Dado o papel preponderante deste sector na sociedade e do crescente desenvolvimento tecnológico, a realidade do sector tornou-se bastante desadequada relativamente aos avanços observados em outros sectores socioeconómicos e como tal estas mudanças tiveram como objetivo tornar o sector mais seguro, fiável e competitivo, e melhorar o bem-estar do consumidor final.

Em Portugal, o ano de 1976 foi um ano de mudança no Sistema Elétrico Nacional (SEN). Até então, o SEN era composto por empresas privadas que exploravam o sector através de concessões atribuídas pelo Estado Português onde não pontificava qualquer tipo de competição, o que não era vantajoso para o consumidor visto que os preços praticados eram desajustados, existindo uma grande diversidade entre os mesmos. Cada empresa concessionária prestava os seus serviços a um número fixo de clientes e, embora existissem diversas concessões espalhadas pelo país, não existia qualquer tipo de concorrência entre eles.

Durante o século XX, muitos países Europeus consideravam o sector elétrico como um sector de grande interesse público, decidindo criar empresas verticalmente integradas que eram responsáveis pelas quatro principais atividades deste sector: a produção, o transporte, a distribuição e a comercialização. Estas empresas eram consideradas monopólios naturais, optando alguns países por nacionalizá-las, optando deste modo por uma estrutura vertical para o sector elétrico. A estrutura do sector elétrico está representada esquematicamente na figura 2.1.

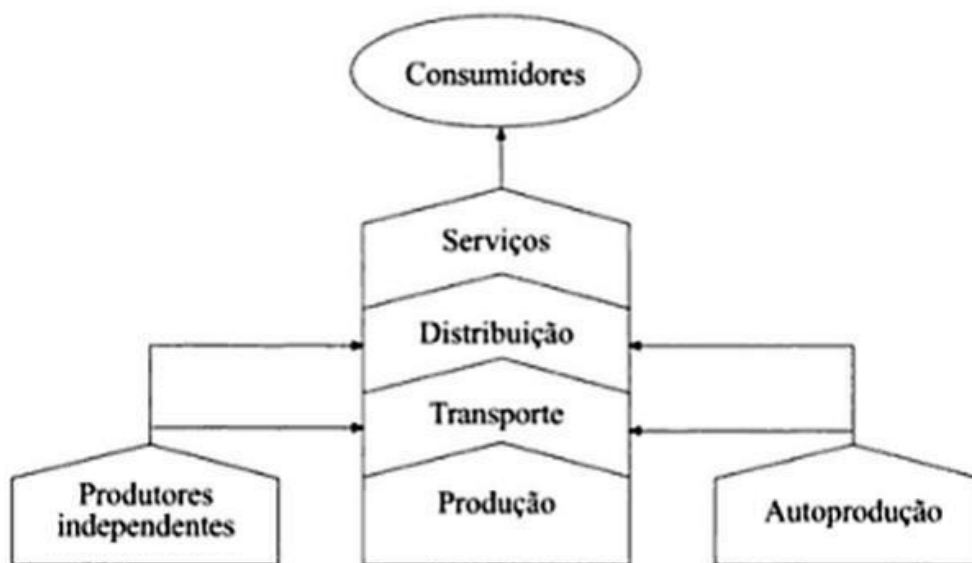


Figura 2.1: Mercado elétrico baseado numa estrutura vertical [9].

Em 1976, Portugal não fugiu à regra do que era praticado um pouco por toda a Europa e nacionalizou o [SEN](#), entregando a exploração de todo o sector a uma só empresa, criando assim a empresa pública Eletricidade de Portugal, atualmente conhecida como Energias de Portugal ([EDP](#)), resultado da fusão de 13 empresas que tinham sido nacionalizadas no ano anterior.

Na nova realidade presente no sector, onde imperava uma estrutura vertical integrada, a [EDP](#) atuava como empresa única dominante do sector, explorando todas as atividades do sector, a produção, o transporte, a distribuição e a comercialização de energia. Com o domínio de todas as atividades do sector a [EDP](#) assumia o papel de empresa monopolista. Este modelo assumia que a existência de uma única empresa se traduziria em preços baixos para os consumidores.

Contudo os preços praticados no mercado eram desajustados e bastante elevados, afetando desta forma o bem-estar do consumidor final, contrariando o objetivo deste modelo. A [EDP](#) assumia o papel de *price-maker* e a ausência de competitividade no sector restringia bastante a inovação e o desenvolvimento do sector, afetando assim os consumidores. Esta ideologia não era apenas praticada em Portugal, mas também em muitos outros países desenvolvidos.

Na década de 70 do século XX, depois do primeiro choque petrolífero, os custos no sector energético cresceram, alertando deste modo alguns países para as preocupações económicas, que até ao momento não existiam. Simultaneamente, o aumento da consciencialização para causas ambientais que se sentiu neste período, originou a crescente busca de alternativas às fontes de energia tradicionais.

Em virtude deste modelo baseado em uma estrutura vertical desajustada com a prática de preços elevados para os consumidores e também dos acontecimentos políticos e socioeconómicos, no início dos anos 90, um pouco por toda a Europa, os sectores elétricos nacionais começaram a sofrer alterações estruturais profundas, que permitiram abandonar os modelos de monopólio verticalmente integrados e substituí-los por modelos liberalizados, com separação vertical e horizontal, como é ilustrado na figura [2.2](#).

Desta forma Portugal deu início à reestruturação do [SEN](#), tendo-se desencadeado assim a sua liberalização. Através da aprovação de vários pacotes legislativos, os segmentos potencialmente competitivos como a produção e comercialização foram liberalizados. Já os segmentos considerados monopólios naturais, tais como o transporte e a distribuição, foram regulados. Estas duas últimas atividades do sector são consideradas monopólios naturais por especificações técnicas do sector elétrico, não sendo economicamente viável a duplicação das suas redes elétricas.

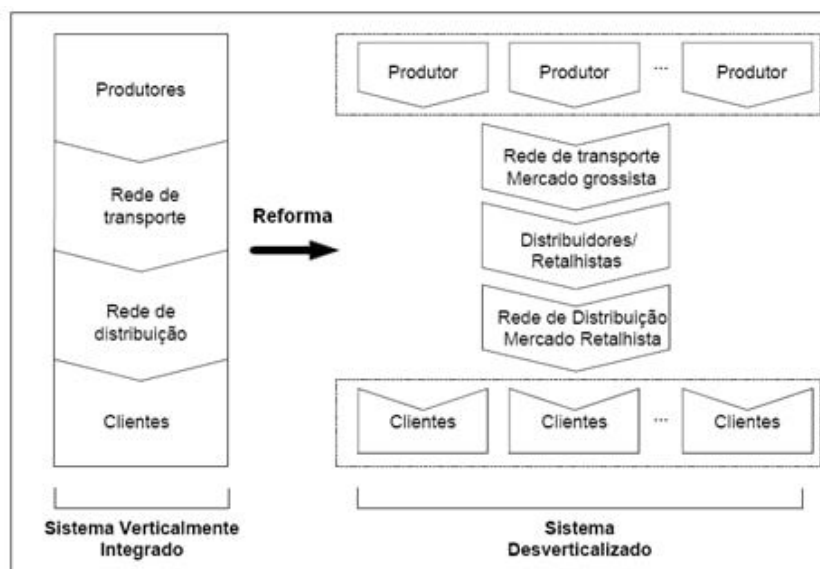


Figura 2.2: Transição do regime monopolista para o regime liberalizado [10].

Tal como aconteceu na grande maioria dos países europeus, o processo de liberalização começou a desenrolar-se por volta dos anos 90 e, tal como sucedeu nesses países, este processo de reestruturação do sector elétrico em Portugal ocorreu de forma faseada e progressiva. Estas mudanças graduais ocorreram entre o ano de 1995 e o ano de 2006.

Em 2003, o Parlamento Europeu através da sua Diretiva 2003/54/CE estabeleceu as regras comuns para a produção, o transporte e a distribuição de eletricidade, a organização e funcionamento do sector, o acesso ao mercado, os critérios e os mecanismos aplicáveis aos concursos, à concessão de autorizações e à exploração de redes e determinando que a partir de 1 de junho de 2007 todos os clientes tinham a possibilidade de escolher livremente o seu comercializador [11, 12].

Tendo em conta esta legislação comunitária, os governos dos países membros transpuseram para a respetiva legislação nacional os princípios orientadores da mesma. O governo português aprovou o Decreto-Lei 29/2006 e desta forma veio transpor para a ordem jurídica interna os princípios anteriormente mencionados, ao mesmo tempo que integrou as bases relativas à organização e funcionamento do SEN.

Desta forma, iniciou-se uma série progressiva de transformações que têm ocorrido até aos dias de hoje. A EDP, uma empresa pública monopolista e verticalmente integrada, foi reestruturada e parcialmente privatizada por forma a viabilizar a promoção e a coexistência de várias empresas em áreas geográficas bem definidas e assegurando a separação entre as atividades de produção, transporte, comercialização e distribuição [13].

Esta reestruturação no SEN originou a criação de novas empresas nas atividades de

produção e comercialização, dada a liberalização implementada em ambos os sectores. Este aumento do número de empresas ampliou naturalmente a competitividade no sector, beneficiando assim os consumidores finais com a possibilidade de escolha de uma solução de fornecimento que cada um considere mais adequada à sua realidade, com reflexos ao nível dos preços e da melhoria da qualidade de serviço, a que deverá corresponder uma maior satisfação do consumidor. É dado ao agente consumidor o direito de mudar de fornecedor de energia quando assim o entender, criando deste modo mais desafios aos agentes de mercado envolvidos no sector.

Embora o aumento significativo do número de empresas na área da produção, algumas das atividades do [SEN](#) mantiveram o regime de monopólio. Nos dias de hoje, o [SEN](#) mantém dois monopólios nas atividades de transporte ([REN](#)) e distribuição ([EDP](#)). As outras duas atividades do sector, produção e comercialização, estão abertas à concorrência tal como mencionado anteriormente. A existência e manutenção de monopólios no sector provocou a necessidade de criação de mecanismos de coordenação e regulação independentes, de forma a manter as condições transparência.

A Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos ([ERSE](#)) deriva da necessidade de existência de uma entidade independente de regulação e coordenação do sector. A [ERSE](#) é a entidade reguladora dos sectores do gás natural e da eletricidade. Esta entidade independente é bastante preponderante no sector elétrico nacional, tendo a seu cargo a responsabilidade da proteção dos direitos e interesses dos consumidores, nomeadamente os mais vulneráveis, da aprovação de regulamentos, da fixação de tarifas e preços de gás natural e eletricidade. A [ERSE](#) estabelece os direitos e as obrigações para os operadores, assume o papel de fiscalizador dos sectores e possui a competência de aplicar sanções, bem como tem a seu cargo a arbitragem de litígios. [14]

Todo o processo de liberalização não foi desenvolvido de forma simultânea para todos os consumidores, optando-se por um processo executado de forma progressiva e gradual. Inicialmente, o mercado começou por ser aberto aos consumidores com níveis de tensão e consumos mais elevados, ou seja, os grandes consumidores industriais. Posteriormente, o processo foi alargado para os consumidores de baixa tensão com maiores potências contratadas.

A partir de 2006, todos os consumidores, em Portugal, passaram a poder escolher o seu fornecedor de energia elétrica, antecipando a data estabelecida pelo Parlamento Europeu, de 1 de Junho de 2007. Deste modo, os clientes têm o direito a mudar de comercializador de eletricidade, não existindo um número máximo de mudanças ou quaisquer encargos associados à mudança. A figura 2.3 apresenta a calendarização das várias fases registadas durante o processo de liberalização do [SEN](#).

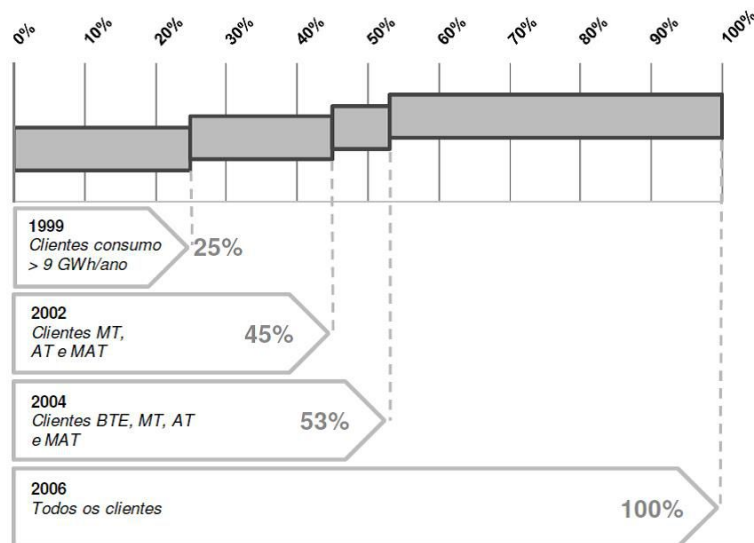


Figura 2.3: Calendarização da abertura do mercado português de energia eléctrica [15].

Em Portugal, atualmente operam simultaneamente dois mercados, o Mercado Livre (ML) e o Mercado Regulado (MR). No ML, os preços da energia são estabelecidos por cada comercializador, desde que respeitem as regras da concorrência e o Regulamento das Relações Comerciais, permitindo que os agentes económicos celebrem compromissos de forma livre com os comercializadores. No MR, os preços praticados na venda da energia são fixados anualmente pela ERSE, sendo essa a tarifa praticada pela EDP Serviço Universal.

Atualmente, o SEN assenta nos seguintes princípios no que diz respeito às quatro principais atividades:

- A produção de eletricidade é uma atividade liberalizada que funciona numa lógica de mercado e em regime de livre concorrência, sujeita à atribuição de uma licença. A produção de eletricidade pode ser exercida em dois tipos de regimes. O regime ordinário assenta em fontes de produção hídrica ou em centros electroprodutores que utilizam fontes de energia não renovável. O regime especial assenta na produção por recurso a fontes de energia renovável ou na cogeração.
- O transporte é uma atividade regulada, não liberalizada e foi atribuída, pelo Estado Português, a respetiva concessão à REN. O Transporte em Alta e Muito Alta Tensão é feito através da Rede Nacional de Transporte (RNT).
- A distribuição é uma atividade regulada e exercida através de concessão atribuída pelo Estado Português à EDP Distribuição. A distribuição de eletricidade é feita através da Rede Nacional de Distribuição (RND), em Média e Alta Tensão e das Redes Municipais de Distribuição, em Baixa Tensão. No caso das redes de Baixa



Tensão, a atividade é exercida ao abrigo de contratos de concessão estabelecidos entre os municípios e a EDP Distribuição.

- A comercialização de eletricidade é uma atividade liberalizada e que funciona numa lógica de mercado e em regime de livre concorrência, mediante a atribuição de licença.

Até que o mercado liberalizado não seja eficaz e eficiente, existirá um comercializador de último recurso, sendo uma entidade titular da licença de comercialização de eletricidade sujeita a obrigações de serviço universal cuja atividade é regulada, tendo em vista a salvaguarda dos direitos dos consumidores, assegurando-lhes o fornecimento de eletricidade, com tarifas reguladas, em condições de adequada qualidade e continuidade de serviço [11, 12].

A estrutura atual do SEN pode ser observada na figura 2.4.

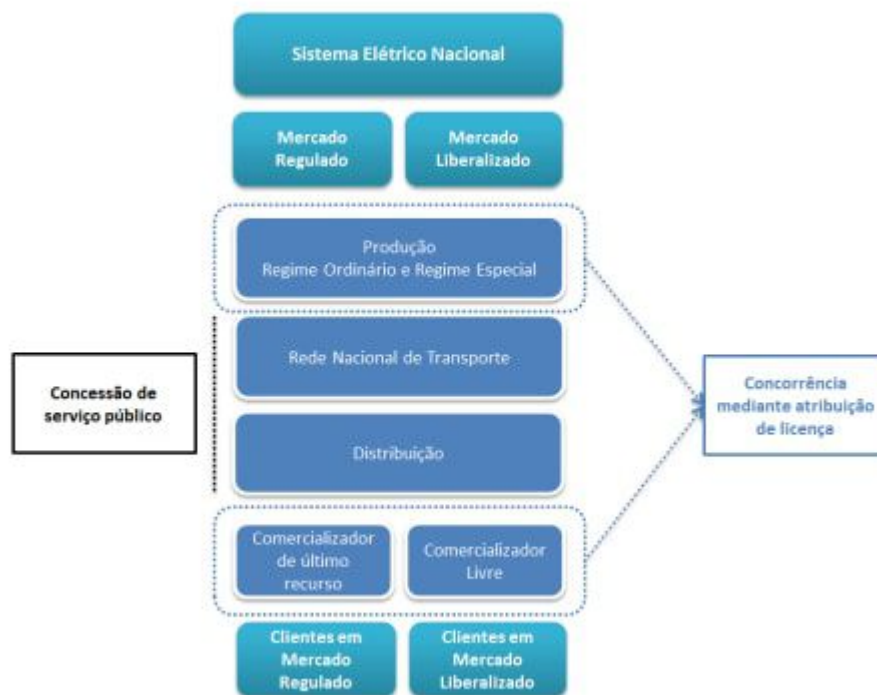


Figura 2.4: Cadeia de valor actual do SEN [16].

## 2.2 Modelos de Mercado de Eletricidade

Um mercado de eletricidade acarreta um conjunto de especificações bastante particular quando comparado com outros mercados. Estas devem-se justamente ao bem transacionado no mercado, ou seja, a eletricidade. Estas características devem estar presentes na

formulação dos vários tipos de modelos de Mercados de Eletricidade.

Considerando que não é economicamente viável o armazenamento da eletricidade em larga escala e que esta deve ser consumida após a sua produção (produção em tempo real), os modelos de mercado que contemplam a comercialização devem ser munidos de uma estrutura sólida e robusta de forma a disponibilizarem energia para consumo a qualquer momento, ou seja, que a oferta seja capaz de cobrir sempre a procura existente em qualquer instante.

Além destas particularidades de cariz técnico, a negociação presente nos mercados engloba uma quantidade elevada de relações entre todos os agentes participantes, quer sejam produtores, comercializadores ou consumidores. Tendo em conta todos estes fatores, pode-se afirmar que as variáveis a considerar são bastantes e de elevada importância quando se equaciona promover a estabilidade de todo o mercado.

Desta forma, os modelos de mercados de eletricidade existentes são diversos. De seguida são apresentadas as estruturas de três modelos clássicos de mercado: o modelo em bolsa, o modelo de contratos bilaterais e o modelo misto.

### 2.2.1 Modelo em Bolsa (*Pool*)

O Modelo em Bolsa (ou *Pool*) de eletricidade é fundamentalmente baseado no Mercado *Spot*, contendo algumas restrições, tendo presente que não é viável o armazenamento de eletricidade em grande escala. Contrariamente ao que sucede em outros tipos de mercado, a *commodity* negociada não pode ser transacionada para entrega imediata. A impossibilidade de armazenar a energia origina a obrigatoriedade de produção em tempo real, resultando em uma constante volatilidade de valores de produção.

Estes mercados assentam em mecanismos de curto prazo com a finalidade de equilibrar a produção e o consumo através da apresentação de propostas de compra e venda por parte de empresas produtoras e de empresas comercializadoras ou consumidores elegíveis para tal.

O funcionamento deste modelo consiste, como em qualquer outro mercado, na interação entre agentes participantes (produtores, consumidores, comercializadores, etc.), negociando normalmente para o dia seguinte, ou seja, no dia D será implementado o resultado da negociação realizada no dia D-1. As propostas de venda tendem a ser estruturadas de forma a refletir custos marginais de curto prazo.

Os mercados bolsistas são estruturados de modo a acomodar o facto de existirem

centrais de energia que comportam custos marginais díspares, bem como a alteração da carga ao longo do dia. Englobando estes fatores anteriormente mencionados e a dificuldade de previsão de carga diária, para um funcionamento eficiente deste tipo de mercados, o intervalo de tempo de um dia, que se encontra em negociação no dia anterior, encontra-se fragmentado em 24 ou 48 intervalos de 1 hora ou 30 minutos, respetivamente.

A coordenação da exploração de todo o sistema é garantida por dois operadores, o Operador de Mercado (OM) e o Operador de Sistema (OS). O OM é a entidade independente responsável pela realização do despacho centralizado da eletricidade, assegurando assim o equilíbrio entre a produção e o consumo e a transparência nas transações realizadas no mercado.

As propostas de compra e venda de energia elétrica por parte dos agentes participantes no mercado (produtores, comercializadores, consumidores ilegíveis ou intermediários financeiros) devem ser iguais ao número de intervalos de tempo em que cada dia se encontra dividido. Estas propostas são recebidas pelo OM, organizando-as por intervalo de tempo, ordenando as propostas de compra e venda por ordem de preço. Posteriormente é determinado o *Market Clearing Price*. Este representa o valor que todas as cargas do sistema irão pagar e que todos os geradores irão receber, conforme a quantidade de energia transacionada.

No mercado *Spot*, se os valores licitados pelos vendedores forem demasiado altos, estes vendedores não serão capazes de vender a energia produzida, visto que os vendedores não competem para adquirir determinados clientes, uma vez que a sua competição visa o fornecimento global de energia. Os compradores têm como objetivo adquirir energia, e se as suas licitações foram demasiado baixas, estes não conseguirão comprar energia. Habitualmente, os vendedores que licitam preços mais competitivos são sempre recompensados por ofertas adequadas [17].

Finalizado todo este processo de negociação, o OM envia os despachos económicos provisórios para o dia seguinte ao OS. O OS é responsável por aceitar ou rejeitar estes despachos emitidos pelo OM, com base em estudos técnicos, onde são analisadas a viabilidade dos volumes de carga em função do risco de congestionamento e limitações físicas que poderão existir na rede.

Em caso de existir um congestionamento, torna-se necessária a interação entre o OM e o OS de forma a eliminar este tipo de situações para o bom funcionamento da rede. O funcionamento e as interações do modelo descrito anteriormente estão representados na figura 2.5.

O modelo *Pool* possui duas variantes distintas, o *Pool* Simétrico e o *Pool* Assimétrico.

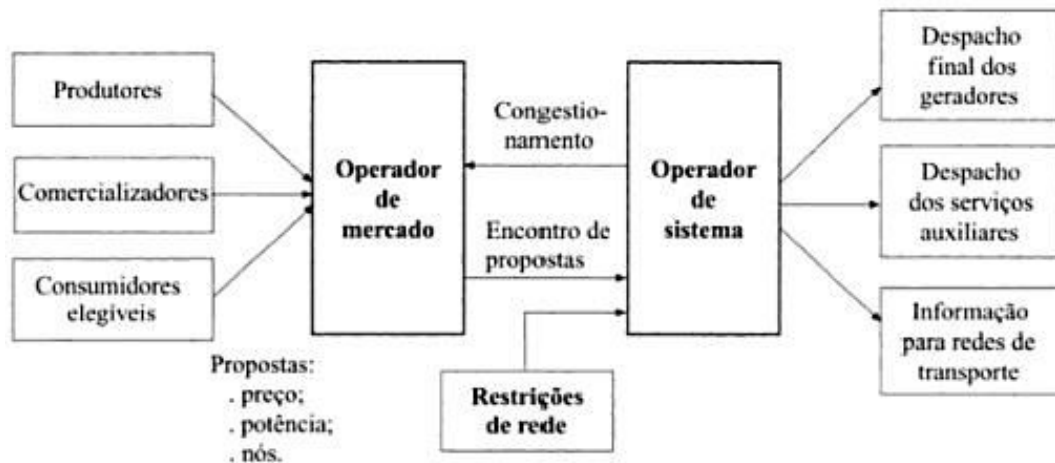


Figura 2.5: Modelo de exploração do sector elétrico em mercado spot [9].

Em mercados em bolsa o formato de *Pool* Simétrico é o mais usual, dado este modelo oferecer aos agentes compradores e vendedores uma maior liberdade para submeterem as suas respetivas ofertas de compra ou venda de energia.

No modelo *Pool* Simétrico, o OM recebe as licitações de compra e venda para cada intervalo de tempo do dia seguinte. Em função das ofertas de venda mais económicas e das ofertas de compra mais vantajosas é determinado o preço que os compradores irão pagar e que os vendedores irão receber, podendo existir alterações no preço quando ocorrerem situações de congestionamentos.

No modelo *Pool* Assimétrico, o OM emite o despacho provisório com base na carga prevista e nas licitações efetuadas pelos vendedores, não considerando as restrições técnicas do sistema. Os vendedores serão remunerados com o preço determinado em função das ofertas mais económicas para cobrir a carga prevista. Nesta variante os preços estão também sujeitos a alterações quando se registarem congestionamentos.

### 2.2.2 Modelo de Contratos Bilaterais

O Modelo de Contratos Bilaterais é uma alternativa de relacionamento entre as entidades produtoras e as entidades consumidoras. Este modelo assenta essencialmente no princípio da livre concorrência, e é regido pelas leis do mercado.

Este modelo surge com o objetivo de contrariar o risco inerente ao funcionamento dos mercados de curto prazo, que apresentam uma elevada flutuação de preços, dado que estes preços refletem os custos marginais a curto prazo, não existindo estabilidade nos preços. No mercado em bolsa, os produtores não conseguem identificar a quem estão a fornecer a eletricidade, tal como, os consumidores não conseguem identificar quem produziu a

eletricidade. Para combater estas limitações apresentadas pelo mercado em bolsa, os contratos bilaterais permitem aos agentes participantes eleger com que agentes se pretendem relacionar para celebrar um acordo.

Um contrato bilateral é celebrado entre dois agentes, geralmente um produtor e um consumidor, no qual ambos têm a possibilidade de negociar de forma livre o preço, bem como os outros termos e condições do contrato. Este modelo permite aos agentes participantes explorar características dos contratos mais apelativas e potenciadoras dos ganhos de cada um. A forma como ambos os agentes se pretendem relacionar definirá o tipo de contrato bilateral mais adequado às necessidades dos dois agentes intervenientes no acordo em questão.

Apesar de os agentes poderem negociar livremente os termos do contrato neste modelo, o contrato deve ser avaliado pelo OS, para analisar a existência de alguma violação das limitações da rede. Existindo a possibilidade de ajustar os contratos, para assegurar o bom funcionamento do sistema, embora estes ajustes tenham, sempre que possível, em consideração o interesse das duas partes que celebraram o contrato [16, 18].

Existem dois tipos de contratos bilaterais, os Contratos Bilaterais Físicos e os Contratos Bilaterais de Índole Financeira. Aas suas características diferenciadoras serão abordadas posteriormente, nas secções 2.3 e 2.4.

### 2.2.3 Modelo Misto

O Modelo Misto (ou Híbrido), tal como o nome indica, consiste na coexistência de dois modelos, o Modelo em Bolsa e o Modelo de Contratos Bilaterais. Este Modelo Híbrido, como também é conhecido, surge como uma estrutura mista e foi adotado pela grande maioria de países onde ocorreu ou está a ocorrer a reestruturação do sector elétrico, como é o exemplo de Portugal e Espanha (membros do MIBEL), ou dos países que integram o *NordPool*.

O *NordPool* é atualmente reconhecido o maior mercado *Spot* do Mundo, e visto como uma referencia no modelo de mercado, tendo como membros fundadores a Noruega e a Suécia, e incluído posteriormente outros membros, tais como, Finlândia, Dinamarca, Estónia, Letónia, Lituânia, Reino Unido e Alemanha [19].

A estrutura deste modelo permite condições mais aliciantes a todos os intervenientes. Os agentes consumidores têm a possibilidade de negociar de forma livre e direta com os agentes produtores, celebrando um contrato bilateral ou, se assim o entenderem, estes agentes podem voluntariamente transacionar energia elétrica acedendo ao mercado em

bolsa. Não é, no entanto, obrigatória a participação no mercado em bolsa.

Neste modelo são também necessárias as intervenções do OM e do OS. O OM é responsável pela gestão das transações em bolsa e pela organização dos contratos bilaterais celebrados. Ao OS compete assegurar a viabilidade do ponto de vista técnico do despacho provisório resultante da negociação em bolsa e dos acordos celebrados através da contratação bilateral. [20].

Se as limitações não forem violadas, o OS informará os agentes produtores através do despacho final, e se necessário contratará os serviços de sistema adequados, enviando toda a informação dos trânsitos de potência previstos para a rede de transmissão.

No caso de se verificar situações de congestionamento, o OS terá de informar os intervenientes, podendo ativar o Mercado de Ajustes com o objetivo de ultrapassar este tipo de situações de inviabilidade técnica detetadas, através da receção de propostas de incrementos/decrementos de potência.

O funcionamento do Modelo Misto poderá ser mais facilmente compreendido, recorrendo à ilustração da figura 2.6.

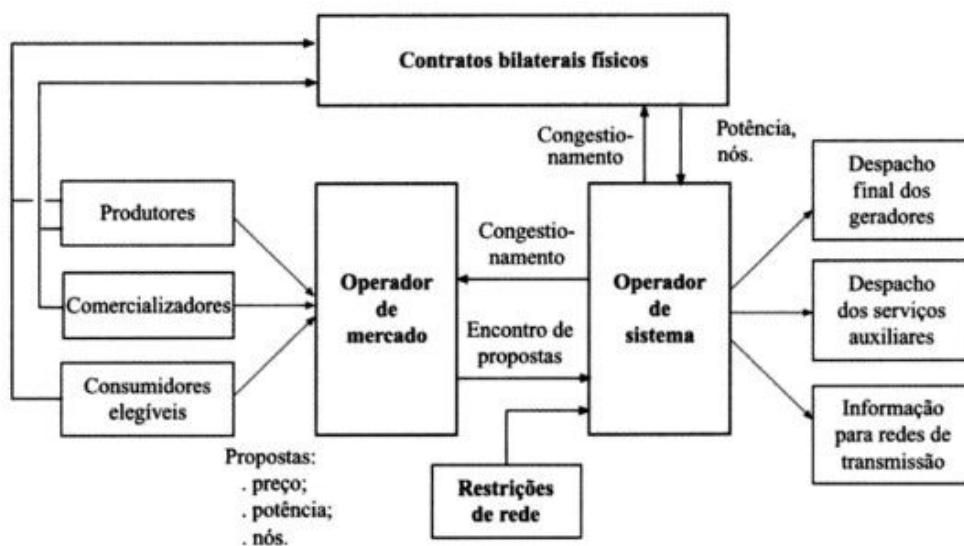


Figura 2.6: Modelo Misto de exploração do sector elétrico [9].

É importante referir que, apesar de os Contratos Bilaterais serem responsáveis por grande parte das transações realizadas no Modelo Misto, por permitirem aos agentes participantes celebrarem acordos com uma durabilidade mais alargada e preços e condições mais ajustáveis às suas necessidades, a negociação deste tipo de contratos tem como referência o preço da energia elétrica obtido no mercado em bolsa [18, 21].

## 2.3 Contratos Bilaterais Físicos

Os Contratos Bilaterais Físicos são uma solução de negociação importante, permitindo que empresas produtoras, distribuidoras, comercializadores, e consumidores elegíveis negociem de forma livre e direta os preços e restantes condições da aquisição de energia elétrica.

Este tipo de ligação entre duas partes tem como objetivo permitir aos agentes negociarem tendo em conta as suas reais necessidades, procurando obter uma maior segurança em relação à estabilidade de preços do mercado em bolsa. Com uma maior estabilidade de preços inerente a este tipo de contratos, a energia transacionada através dos mesmos tende a aumentar, o que leva a uma diminuição da energia transacionada no mercado em bolsa, o que tem como consequência a perda de influência dos agentes produtores no mercado, produzindo efeitos bastante positivos [22].

Os Contratos Bilaterais Físicos possibilitam aos agentes envolvidos a obtenção de uma maior segurança em relação aos preços praticados, sendo que normalmente são celebrados tendo em vista um prazo alongado (habitualmente igual ou superior a um ano), permitindo uma menor exposição à volatilidade aos preços da energia do mercado em bolsa.

A liquidação destes contratos é física isto é, implica a entrega física da energia elétrica. Uma vez celebrado o contrato existe um compromisso entre ambas as partes, uma das partes compromete-se a fornecer uma determinada quantidade de eletricidade em uma determinada data acordada, sendo que a outra parte se compromete a efetuar o pagamento relativo à transação ocorrida.

A liberdade dos agentes na vertente negocial é total, mas existem alguns aspetos a ter em conta tais como, o volume de carga durante a duração do contrato, a data e local de entrega. Estas considerações são necessárias para ser acautelada a segurança da rede elétrica, não pondo em causa as suas limitações técnicas.

As condições acordadas entre ambas as partes envolvidas neste tipo de ligação contratual dizem respeito apenas ao relacionamento entre as duas partes. Tendo em conta este facto, o OS não tem capacidade de averiguar o preço acordado entre ambas as partes, competindo-lhe apenas fazer o estudo técnico para assegurar a viabilidade técnica de todos os contratos celebrados na rede elétrica [9].

O preço da energia elétrica é fixo durante a duração acordada entre as duas partes quando é estabelecido um contrato bilateral físico. Este fator pode ser visto como um risco associado a tal formato de contratação de energia elétrica. O preço acordado no contrato

pode ser superior ou inferior ao preço do mercado em bolsa, e tendo em conta este preço de referência este acordo pode perder todo o seu potencial benéfico, transformando-se assim em um acordo pouco proveitoso para uma das partes contratuais [22].

## 2.4 Contratos Bilaterais de Tipo Financeiro

A reestruturação do sector elétrico nacional, desencadeou a adoção de mecanismos de contratação que proporcionassem maior proteção aos agentes participantes no mercado em bolsa, relativamente ao risco associado a este modelo de mercado. Nesta perspectiva, os Contratos Bilaterais de Tipo Financeiro fazem parte destes mecanismos.

Este tipo de contratos de tipo financeiro são fundamentalmente mecanismos de *hedging*, ou seja, operações para os agentes envolvidos evitar a exposição ao risco existente da flutuação de preços inerente ao comportamento registado no mercado a curto prazo [9].

A inovação financeira tem sido cada vez mais uma consequência do desenvolvimento dos vários tipos de mercado nos últimos anos. Os Contratos Bilaterais de Tipo Financeiro são instrumentos de índole puramente financeira, sendo bastante utilizados em outros mercados financeiros. De seguida, são descritos os tipos de instrumentos financeiros mais usuais, tais como as suas principais características diferenciadoras, tendo em conta que todas as soluções constituem uma alternativa de maior proteção aos agentes envolvidos nos contratos.

Os derivados financeiros são divididos em três conjuntos clássicos, classificados consoante as suas características. Os contratos a prazo são acordos de foro individual, inserindo-se neste conjunto os contratos *emphForward* e os contratos Futuros, também designados como contratos padronizados a prazo. O conjunto de opções financeiras pode ser categorizado em duas modalidades.

As opções padronizadas que são negociadas em mercado regulamentado, são acordos celebrados em *Organized Trading Facilities (OTF)* e as opções não padronizadas, que são negociadas fora do mercado regulamentado, são negociadas em mercados de balcão ou *Over-The-Counter(OTC)*. O último conjunto de produtos financeiros abrange os Contratos por Diferenças (ou *Swaps*).

Nas secções seguintes são descritos os diferentes produtos financeiros com maior utilização nos mercados de energia elétrica e em outro tipo de mercados financeiros. Estes derivados financeiros são soluções viáveis de contratação relativamente ao mercado *Pool*. Estas alternativas diferenciam-se entre si pela robustez apresentada face ao risco associado ao mercado em bolsa. Todos estes tipos de contratos têm como objetivo a proteção e a



diminuição da exposição ao referido risco para todos os agentes envolvidos nos acordos celebrados.

### 2.4.1 Contratos *Forward*

Os Contratos *Forward*, também conhecidos como Contratos a prazo, são acordos de compra e venda de um determinado ativo subjacente, neste caso onde as duas partes se comprometem a transacionar eletricidade, a um preço determinado à partida, em um determinado momento futuro. O comprador compromete-se a adquirir eletricidade no período de entrega, e o vendedor compromete-se a colocar essa mesma eletricidade ao preço determinado no momento da transação.

Neste tipo de contrato, a fixação do preço à partida assume um papel preponderante. Este fator elimina o risco de flutuação do preço presente no mercado em bolsa [1, 23].

Os contratos *Forward* são derivados financeiros que apresentam características idênticas às dos Contratos de Futuros, essencialmente no conceito em que se baseiam os dois tipos de contratos, no entanto ambos os tipos possuem condições diferenciadoras entre si. Algumas das particularidades que distinguem os dois tipos serão descritas de seguida na presente secção e na secção 2.4.2.

Este tipo de contrato é negociado fora do mercado regulado, sendo negociado em mercado de Balcão (OTC). São normalmente estabelecidos entre duas instituições de crédito ou entre uma instituição de crédito e um cliente.

São normalmente acordos privados entre as duas partes envolvidas, sendo possível negociar entre os dois agentes envolvidos todos os termos do contratos. Esta liberdade de negociação de todos os termos possibilita acordos mais adequados às necessidades de ambas as partes, conferindo assim uma maior proteção ao risco associado ao mercado.

Os contratos *Forward* não implicam uma liquidação diária, a liquidação acontece apenas no final do contrato. Por serem contratos particulares, a Câmara de Compensação não garante qualquer tipo de compensação, o que os torna mais expostos ao risco de crédito.

São normalmente derivados simples, individualizados, ajustáveis e com uma grande robustez quanto à variação do preço.

Pese embora que este tipo de contratos apresentem um conjunto de premissas atrativas para agentes que pretendem celebrar acordos vantajosos e que cobram os seus interesses,

a negociação destes contratos acarreta um conjunto de dificuldades. Dadas as especificações contratuais, existe uma certa dificuldade em identificar uma contraparte que encaixe nas especificações pretendidas. Existe uma grande dificuldade em alterar ou cancelar um contrato a prazo. São derivados onde existe um certo risco de uma das partes não cumprir o contrato, apresentando por isso pouca liquidez [9, 23].

### 2.4.2 Contratos de Futuros

Os Contratos de Futuros são instrumentos financeiros celebrados através de acordos padronizados entre os agentes contraentes, negociados em mercado regulamentado. São contratos de compra ou venda de um determinado bem (*commodity*). Neste caso a negociação ocorre para a transação de energia elétrica em quantidade e qualidade padronizadas, em local pré-estabelecido, em data futura ou durante um período de tempo pré-determinado e a um preço acordado durante a negociação do contrato [1].

Este tipo de contratos possui características específicas, normalmente quase todas já estão pré-estabelecidas à partida, onde o único elemento remanescente para a negociação em bolsa é o preço, facilitando assim a sua negociação em mercado organizado [23].

Este modelo de contratação bilateral surge como alternativa aos Contratos *Forward*, com o intuito de solucionar problemas associados a esse tipo de contratação.

Os contratos de Futuros proporcionam uma proteção aos seus utilizadores relativamente ao risco inerente à volatilidade dos preços no Mercado *Spot*. Estes contratos garantem uma maior segurança aos participantes, embora estes não se relacionem diretamente entre si. Em todas as operações existe a intervenção de entidades que são isentas e independentes, a Câmara de Compensação. A intervenção deste tipo de entidades anula praticamente o risco de crédito, assumindo a responsabilidade de cumprimento das obrigações das duas partes. Esta característica presente nos Contratos de Futuros torna-os altamente atrativos para especuladores dada a enorme liquidez de mercado inerente.

Os contratos de Futuros também apresentam uma grande dificuldade para a sua anulação, tal como sucede nos contratos *Forward*. Esta operação de anulação obriga a uma operação de reversão sempre que um investidor pretenda anular um contrato. Se o investidor assumir uma posição de comprador, terá de vender em mercado um contrato exatamente com as mesmas características deste mesmo contrato, de modo a anular a sua posição. Se assumir uma posição de vendedor, o investidor terá de comprar um contrato com as mesmas características do seu, para poder anular assim a sua posição.

Pese o facto de este tipo de contrato possuir estas características supramencionadas,

estes contratos poderão estar sujeitos a um risco elevado. O possível risco associado é referente às perdas financeiras resultantes de um acordo mal elaborado, dado que no fim do prazo estabelecido existe a utilização do bem transacionado, e o preço presente no contrato pode ser bastante superior ao preço praticado no mercado a curto prazo [9].

Os mecanismos deste tipo de contratos focam em assumir uma posição relacionada ao preço e posteriormente liquidá-la diariamente, consoante a variação do preço de mercado, através de liquidações diárias onde os investidores envolvidos podem obter lucros ou perdas.

A Câmara de Compensação estipula que os investidores de contratos de Futuros devem efetuar o depósito de um determinado valor, designado como Margem Inicial, por cada contrato celebrado, este depósito é visto como uma demonstração de boa fé por parte dos investidores. Até ao cumprimento do contrato, os capitais próprios do investidor não poderão ser menores do que um montante mínimo, designado como Margem de Manutenção e estipulado pela Câmara de Compensação [9, 23].

Sempre que os capitais próprios do investidor forem superiores à Margem Inicial, o investidor estará autorizado a colher o montante excedente da sua conta. Sempre que os capitais forem inferiores à Margem de Manutenção, o investidor vê-se obrigado a repor o montante em falta, de forma a garantir que o seu capital seja igual à Margem Inicial, se tal não for cumprido, a sua posição no contrato será fechada. Estas exigências demonstram o papel preponderante da Câmara de Compensação em todas estas operações na negociação de Contratos de Futuros [9, 23].

### 2.4.3 Contratos de Opções

Os Contratos de Opções são contratos que concedem ao seu comprador o direito, e não a obrigação, de vir a comprar (*Call*) ou vender (*Put*) uma dada quantidade de energia elétrica, numa determinada data, a um preço determinado, ou seja, o preço de exercício (*strike price*). O titular deste tipo de contrato obtém o direito anteriormente referido através do pagamento de uma contrapartida monetária, também conhecida como prémio.

A possibilidade do titular poder utilizar ou não a energia elétrica por si reservada a quando da celebração do contrato de opção, concede ao titular uma posição mais vantajosa, não o expondo tanto ao risco como se verifica noutros tipos de contratos. Caso surja uma oportunidade mais vantajosa o titular do contrato de opção pode simplesmente não exercer o seu direito [24].

Se a opção for exercida por parte do seu titular, o vendedor é obrigado a cumprir

os termos estabelecidos no contrato. Se tal opção não for exercida, o vendedor apenas fica com o prémio. Este prémio pago ao vendedor da opção é irrecuperável por parte do comprador da opção, seja a opção exercida ou não.

A negociação destes contratos podem ocorrer em mercados organizados ou não organizados (OTC), e constituem um mecanismo transitório que pode ser desativado se for identificada uma possibilidade de investimento mais atraente.

Existem dois tipos clássicos de contratos de Opções, as Opções Europeias e as Opções Americanas, que apesar da nomenclatura atribuída, não possuem qualquer ligação à zona geográfica. Qualquer um dos dois tipos de contratos pode ser negociado em qualquer zona geográfica.

As Opções Americanas concedem ao seu titular o direito de poder exercer a sua opção em qualquer momento desde que contrato é celebrado até à data da sua expiração. As Opções Europeias apenas podem ser exercidas na data de expiração. O momento em que a opção pode ser exercida é a característica que torna diferente estes dois tipos de opções. É importante referir que as Opções Americanas, que permitem o acesso a uma escolha mais vantajosa, são naturalmente mais dispendiosas.

Os agentes participantes podem ocupar quatro posições diferentes, consoante o tipo de Opção utilizada no contrato, opção de compra (*Call Options*) ou opção de venda (*Put Options*):

- *Long Call* – Comprador de uma opção de compra;
- *Long Put* – Comprador de uma opção de venda;
- *Short Call* – Vendedor de uma opção de compra;
- *Short Put* - Vendedor de uma opção de venda.

Além das categorias anteriormente descritas, surgem três categorias que qualificam o ganho referente à variação dos preços nos contratos de opções, com base no preço de exercício e o preço de referência no mercado em bolsa. Podem distinguir-se as seguintes categorias:

- *In-The-Money* – Ocorre se o preço de exercício for menor que o preço no mercado em bolsa para as opções *Call*, e se o preço de exercício for maior ao preço no mercado em bolsa para as Opções *Put*;
- *At-The-Money* – Se ambos os preços forem iguais;

- *Out-The-Money* – Se o preço de exercício for inferior ao preço no mercado em bolsa para as opções *Put*.

Os contratos de Opções tem duas forma distintas de exercício, a entrega monetária e a entrega física.

Na entrega monetária, caso seja um *Call* o agente vendedor da opção tem de compensar o agente comprador com o valor monetário igual ao possível lucro que este teria caso efetuasse uma compra de energia ao preço de exercício e posteriormente a vendesse toda no mercado *Spot*. Caso seja uma opção *Put*, o comprador da opção é compensado pelo vendedor da opção. A compensação é um valor monetário igual ao lucro que ele poderia obter caso vendesse toda a energia ao preço de exercício e alternativamente a comprasse no mercado *Spot* [9];

Na Entrega Física, caso assim o deseje, o comprador exige ao vendedor da opção a entrega da energia subjacente, nas condições estabelecidas no contrato, ao preço do exercício. Em mercados de energia elétrica, as opções com entrega física numa determinada data têm de ser exercidas com bastante antecedência em relação ao seu período de entrega, muito por força de questões inerentes à exploração do sistema [9].

Dada a possibilidade de serem negociados em mercado não regulamentado (OTC), este tipo de contrato acarreta algumas questões, permitindo aos agentes participantes celebrar um contrato individualizado para cobrir as suas necessidades, mas fazendo com que ambos tenham que assumir o risco de incumprimento da compensação ou falta de liquidação de uma das partes [25].

### 2.4.4 Contrato por Diferenças (CfD) ou Swap

Os Contratos por Diferenças (CfD) são contratos a prazo, utilizados como mecanismos de *hedging* pelos agentes participantes, onde apenas é estabelecida uma liquidação financeira entre ambas as partes. É um tipo de ligação contratual bastante solicitada em mercados energéticos europeus, e em outro tipo de mercados financeiros, considerando-se uma das maiores inovações ao nível financeiro [1].

Sendo um instrumento de cobertura ao risco, este tipo de contrato permite aos intervenientes negociarem de forma a satisfazerem os interesses das duas partes. O principal objetivo, tal como acontece nos outros contratos a prazo, é eliminar o risco presente na volatilidade de preços no mercado em bolsa [9].

São instrumentos puramente financeiros, e a sua liquidação financeira permite que os agentes envolvidos continuem a participar no mercado em bolsa. O agente vendedor

continua a vender a sua energia neste mercado e o agente comprador continua a comprar energia participando no mercado em bolsa. A inexistência de liquidação física de energia elétrica entre os agentes participantes, leva a que este tipo de contrato não influencie de alguma forma o despacho obtido no mercado a curto prazo, sendo visto como uma vantagem de ponto de vista técnico [21, 22].

Os Contratos por Diferenças definem-se como sendo um instrumento financeiro derivado do mercado de balcão (OTC). As duas partes podem negociar o contrato de forma individualizada, tentando chegar a um acordo relativamente ao preço-alvo, conhecido como *target price*.

Definido o preço-alvo, as duas partes definem qual será o preço de referência para a obtenção das diferenças. Habitualmente o preço considerado é o preço do mercado em bolsa. Tendo como base estes dois preços definidos pelas duas partes, poderão ter lugar duas situações:

- Nos intervalos temporais em que o preço-alvo for superior ao preço de referência, a entidade consumidora reembolsa a entidade produtora, pagando a diferença entre o preço-alvo e preço de referência.;
- Nos intervalos de tempo em que o preço de referência for superior ao preço-alvo, a entidade produtora paga à entidade consumidora a diferença entre o preço de referência e o preço-alvo.

Se o preço de referência e o preço-alvo forem iguais, nenhuma das entidades será reembolsado. Estas liquidações financeiras ocorrem diariamente ou de forma periódica durante todo o período de vigência do contrato.

Estas condições anteriormente descritas conferem aos agentes intervenientes no contrato, uma determinada proteção para as possíveis mudanças de preços que ocorrem frequentemente em mercados a prazo [26].

Os CfD são vistos como uma das maiores inovações de mercados financeiros, e são contratos com elevada procura nos mercados energéticos por toda a Europa, sendo bastante requisitados devido à sua flexibilidade a nível estrutural e operacional.

## 2.5 MIBEL – Mercado Ibérico de Eletricidade

O Mercado Ibérico de Energia Elétrica (MIBEL) resulta de uma iniciativa conjunta desenvolvida pelos governos dos dois países da Península Ibérica, o Governo de Portugal e o Reino de Espanha, tendo como principal objetivo a promoção da integração dos sistemas

elétricos de ambos os países.

A criação do [MIBEL](#) constitui um marco histórico importante, marcando uma aproximação e desenvolvimento económico das duas nações envolvidas, e também por construir um contributo significativo para a construção de um Mercado Interno de Energia da União Europeia ([UE](#)).

O desenvolvimento e crescimento do [MIBEL](#) aconteceu de forma gradual, desde 1998 até aos dias de hoje, o seu processo de criação foi composto por um conjunto de acontecimentos importantes e marcantes para a sua evolução, tais como [\[27, 28\]](#):

- No dia 29 de Junho de 1998, o Ministro da Economia de Portugal e o Ministro da Indústria e Energia de Espanha assinam um acordo que visa melhorar a cooperação energética dos dois países, integrando assim os dois sistemas elétricos. Desta forma foram geradas as condições basilares para a criação do Mercado Ibérico;
- A 14 de Novembro de 2001, as administrações de Portugal e Espanha celebram um Protocolo de Colaboração para a criação do Mercado Ibérico de Eletricidade;
- No dia 8 de Novembro de 2003, na XIX Cimeira Luso-Espanhola, foi celebrado um Memorando de Entendimento com o objetivo de calendarizar a concretização do Mercado Ibérico;
- A 20 de Janeiro de 2004, são definidos os elementos-chave para a criação do [MIBEL](#) através da celebração do Acordo de Lisboa. Este acordo nunca vigorou, tendo apenas sido aplicado de forma provisória a partir de 22 de abril do mesmo ano, exibindo a necessidade de os Governos reverem o seu regime jurídico relativamente a mercados de energia;
- A 1 de Outubro de 2004, o Governo Português e o Reino de Espanha assinaram o Acordo de Santiago de Compostela. O objetivo deste acordo era a criação e desenvolvimento de um mercado de eletricidade comum a ambos os países, conhecido como [MIBEL](#). Este acordo permitiu também a evolução do processo de integração das redes elétricas dos dois países;
- A 1 de Julho de 2007, foi realizada a integração oficial dos dois mercados liberalizados, viabilizando de forma efetiva o funcionamento do [MIBEL](#);
- A 18 de Janeiro de 2008, a assinatura de um acordo de Revisão do Acordo de Santiago de Compostela, tentando deste modo aumentar o desenvolvimento do Mercado Ibérico, permitindo a integração do Mercado Ibérico de Gás Natural;
- A 22 de Janeiro de 2009, é celebrado entre os dois governos o acordo para a constituição definitiva do Operador do Mercado Ibérico ([OMI](#)), através da integração de dois organismos operadores até 15 de Junho desse mesmo ano e detalham-se as

funções atribuídas ao Conselho de Reguladores. Este acordo foi assinado na XXIV Cimeira Luso-Espanhola, em Zamora.

Todos os acontecimentos anteriormente relatados contribuíram para o desenvolvimento do [MIBEL](#), e a sua criação teve um contributo extremamente importante para a estreitar os laços de proximidade e o desenvolvimento a nível económico dos dois países ibéricos. Além de permitir esta aproximação entre as duas nações, a criação deste mercado ibérico foi um avanço significativo para um objetivo que abranja toda a Europa, ou seja, que todos os mercados de Energia convirjam para um único Mercado Europeu de Energia.

O [MIBEL](#) oferece aos seus agentes intervenientes um conjunto vasto de benefícios, tais como [28]:

- Beneficiar os consumidores de eletricidade dos dois países, através do processo de integração dos respetivos sistemas elétricos;
- Estruturar o funcionamento do mercado com base nos princípios da transparência, livre concorrência, objetividade, liquidez, auto-financiamento e auto-organização;
- Favorecer o desenvolvimento do mercado de eletricidade de ambos os países, com a existência de uma metodologia única e integrada, para toda a península ibérica, de definição dos preços de referência;
- Permitir a todos os participantes o livre acesso ao mercado, em condições de igualdade de direitos e obrigações, transparência e objetividade;
- Favorecer a eficiência económica das empresas do sector elétrico, promovendo a livre concorrência entre as mesmas.

Na regulação de todas as operações presentes no [MIBEL](#), operam quatro entidades independentes, que são [ERSE](#) – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos e [CMVM](#) – Comissão do Mercado de Valores Mobiliários em Portugal, a [CNE](#) – *Comisión Nacional de Energía*, e a [CNMV](#) – *Comisión Nacional del Mercado de Valores* em Espanha. Estas quatro entidades são membros do conselho de reguladores do [MIBEL](#).

O [MIBEL](#) possui dois operadores de sistema e transporte de energia, que são a [REN](#) – Redes Energéticas Nacionais em Portugal, e a [REE](#) – *Red Eléctrica de España*, em Espanha.

A distribuição e comercialização de energia elétrica estão distribuídas por várias empresas que atuam no seu respetivo país ou em ambos. Em Portugal, a [EDP](#) possui grande parte da rede de distribuição, e no que diz respeito à comercialização, apesar da presença de outras empresas, a EDP é responsável por uma grande cota do mercado.



O Acordo de Santiago de Compostela celebrado entre os dois governos permitiu caracterizar a estrutura do **MIBEL**. O atual modelo de funcionamento do Mercado Ibérico de Energia Elétrica assenta na coexistência de duas vertentes de mercado diferenciadas, os Mercados Organizados e os Mercados Não Organizados.

Os Mercados Organizados englobam o Mercado Diário, o Mercado Intradiário e o Mercado a Prazo. O Mercado Não Organizado onde são feitas transações de energia eléctrica conhecidas como *Over-the-Counter* (**OTC**), sendo possível celebrar contratos bilaterais, negociando instrumentos de liquidação tanto por entrega física como financeira fora do mercado.

Estes dois tipos de Mercados complementares são geridos pelo Operador de Mercado Ibérico (**OMI**). O **OMI** possui dois pólos, onde cada um deles é responsável por gerir os mercados organizados. O pólo português (**OMIP**) assume a responsabilidade de gerir o Mercado a Prazo de Energia. Por sua vez, o pólo espanhol (**OMIE**) tem a seu cargo a gestão do Mercado Diário e do Mercado Intradiário [21].

Com auxílio da figura 2.7 é possível observar um esquema da estrutura corporativa do **MIBEL**.

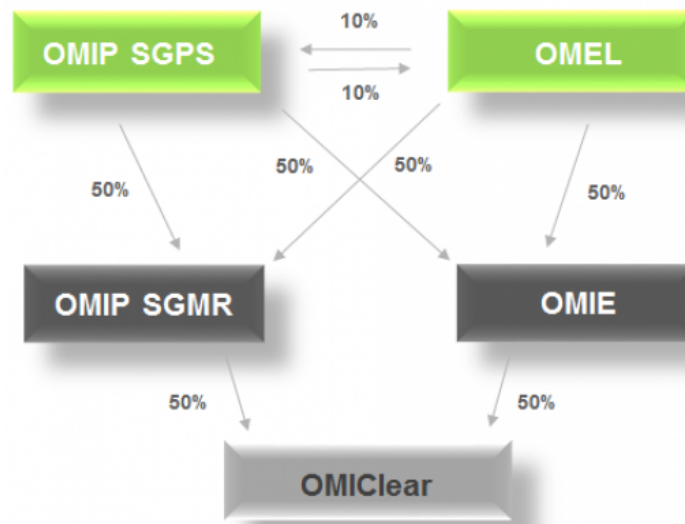


Figura 2.7: Estrutura corporativa do MIBEL [29].

Cada um dos dois pólos, **OMIP** e **OMIE**, detém metade da **OMIClear**, a Sociedade de Compensação de Energia S. A. Esta sociedade tem um papel fundamental, ao assumir as funções de Câmara de Compensação, contraparte central (CCP) e gestora do sistema de liquidação nas operações que ocorrem no mercado.

A OMIClear gere as posições resultantes de todas as operações registadas, assumindo o papel de compradora face ao vendedor e o papel de vendedora face ao comprador, fazendo uso de um conjunto de procedimentos para controlar o risco assumido face a ambas as partes envolvidas, nomeadamente através da exigência de um depósito e da gestão de garantias. Esta entidade intermediária assegura a supervisão de todo o Mercado [28, 30].

A OMIClear elimina, assim, um conjunto de riscos das operações, designadamente[30]:

- De crédito - cobre o risco de uma parte não honrar os seus compromissos contratuais relativamente à outra;
- De liquidação - assegurando centralmente os débitos e créditos em dinheiro, numa lógica multilateral;
- Operacional - atendendo aos procedimentos e mecanismos de controlo e supervisão do mercado;
- Sistémico - atento o facto de introduzir nas operações netting de natureza multilateral.

### 2.5.1 Mercado Diário

O Mercado Diário do MIBEL caracteriza-se como um mercado organizado a curto prazo, através de uma plataforma onde se transaciona energia elétrica para entrega no dia seguinte ao dia de negociação. Este Mercado forma preço para cada uma das 24 horas do dia seguinte e para cada um dos 365 ou 366 dias de cada ano.

A plataforma de mercado diário abrange Portugal e Espanha, no entanto é gerido pelo OMIE e a hora de negociação é determinada pela hora legal espanhola (HOE). As regras de funcionamento deste mercado são próprias do OMEL - *Operador del Mercado Ibérico de Energía, Polo Español, S.A.*.

O funcionamento do mercado assenta no cruzamento de ofertas simples ou complexas de compra e venda, ofertas estas que são apresentadas por diversos agentes participantes neste mercado e onde devem ser indicados o dia e a hora a que se reporta, o preço e a quantidade de energia elétrica correspondentes.

O processo para encontrar o preço praticado no mercado assenta em princípios económicos, tal como sucede em outros mercados o preço estabelece-se a partir da intersecção entre a curva de oferta e de procura de eletricidade para uma mesma hora. A curva de procura obtém-se através da ordenação de forma decrescente das ofertas de compra e a curva de oferta através da ordenação de forma crescente das ofertas de venda.

Este funcionamento de mercado permite assegurar que o preço de mercado será entre os preços, o menor que garanta que a oferta satisfaça a procura. O mercado diário funciona com base no que é designado como modelo de preço marginal único, ou seja, todos os compradores paguem o mesmo preço e todos os vendedores recebam esse mesmo preço [31, 32].

Visto o mercado diário do MIBEL compreender Portugal e Espanha, torna-se obrigatório analisar antecipadamente se as capacidades de interligação na rede elétrica entre os dois países comportam os fluxos transfronteiriços de energia que poderão resultar da negociação ocorrente no mercado.

Quando se verificar a impossibilidade de transmissão, as regras que imperam no mercado ditam que deve ocorrer um mecanismo conhecido como separação de mercados ou *market splitting*, onde se separam as duas áreas de mercado e se encontram preços específicos para cada país, Portugal e Espanha. É possível observar uma situação onde ocorreu este fenómeno através da figura 2.8.

A separação de mercados pode ocorrer derivada a bastantes múltiplos fatores desde a organização estrutural da produção em cada uma das áreas, capacidade insuficiente de interligação ou comportamento dos agentes participantes. Sempre que se verificar uma desigualdade entre os preços para cada uma das áreas de mercado, diz-se que existe um *spread* de preços entre elas.

O OMIE deve assegurar o bom funcionamento e a fiabilidade do Mercado Diário, atuando de forma a minimizar a ocorrência de separação de mercados e de *Spread* de preços e garantir que estas situações não ocorrem derivadas de comportamentos anti concorrenciais entre os agentes intervenientes neste mercado [31].

A ERSE e o OMIE disponibilizam um relatório do mercado diário onde é possível ter acesso a informações relativas aos preços e volumes de mercado e aos períodos nos quais ocorreu a separação de preços entre os dois países.

É importante relevar o facto de se verificar cada vez menos a ocorrência do fenómeno de *Market Splitting*, visto a interligação entre a rede elétrica dos dois países ibéricos ser gradualmente melhor.

Quando se verifica uma disparidade entre os preços do mercado português e do mercado espanhol, verifica-se também a necessidade de um fluxo de energia de um país para o outro. Sendo um preço de um dos mercados mencionados superior ao outro mercado, o trânsito de energia terá o sentido do país com o preço menor para o país com o preço mais elevado, visto este último não conseguir produzir energia suficiente para

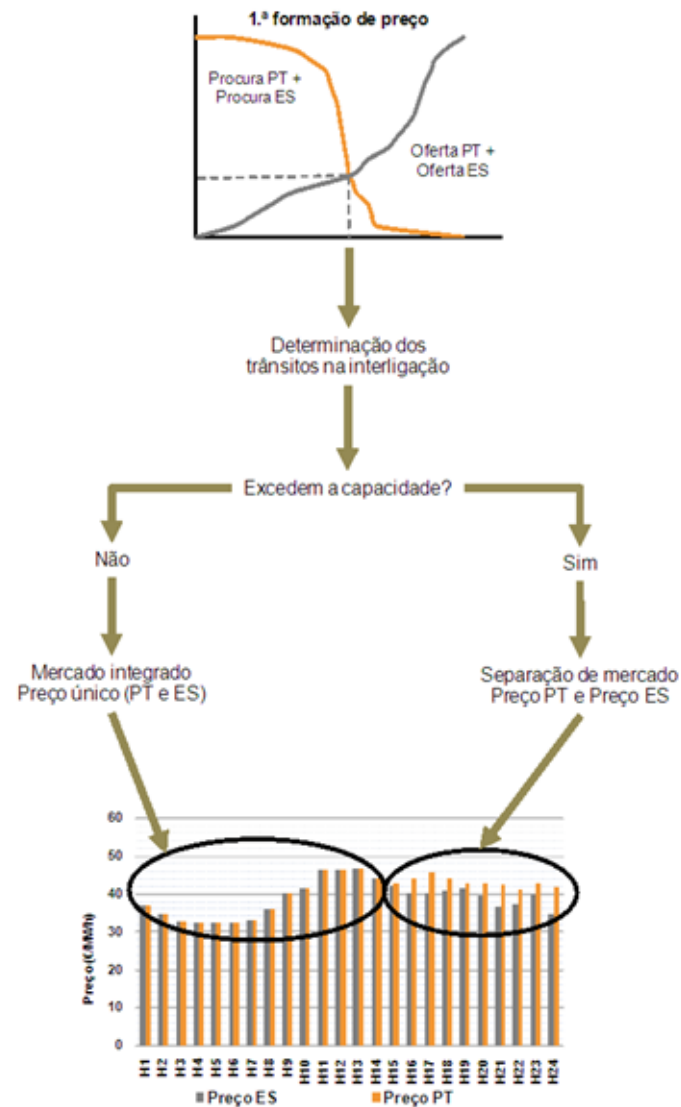


Figura 2.8: Mecanismo para formação o preço de mercado diário [32].

cobrir o seu consumo interno.

### 2.5.2 Mercado Intradiário ou Mercado de Ajustes

O Mercado Intradiário, ou Mercado de Ajustes como também é conhecido, caracteriza-se como uma plataforma complementar ao Mercado Diário. Esta plataforma permite que os agentes intervenientes no Mercado Diário ajustem as quantidades necessárias de eletricidade transacionada anteriormente no Mercado Diário. Estes ajustes podem ser de compra ou venda de energia elétrica até quatro horas antes da hora real e realizados por agentes que tenham participado no Mercado Diário, Mercado a Prazo ou tenham celebrado um contrato bilateral [14, 31].

O Mercado Intradiário é gerido pelo OMIE, tendo como hora de negociação a hora legal espanhola (HOE) e é realizado todos os dias do ano compreendendo todas as horas do dia.

As ofertas de compra ou venda efetuadas no Mercado Intradiário devem ser compostas pelo dia e hora a que se reporta, a sessão a que se destinam e o preço e volume de energia elétrica envolvidos. Os agentes autorizados a participarem neste mercado necessitam de ser registados e cumprir as regras estabelecidas pelo OMIE [14, 31].

O Mercado Intradiário compreende 6 sessões diárias de negociação, dividida em intervalos de tempo:

- A primeira sessão forma o preço para as 4 últimas horas do dia de negociação e para as 24 horas do dia seguinte (das 20 Horas do dia D-1 até às 24 Horas do dia D);
- A segunda sessão forma o preço para as 24 horas do dia seguinte (das 00 Horas às 24 Horas do dia D);
- A terceira sessão forma o preço para as 20 horas do dia seguinte (das 5 Horas às 24 Horas do dia D);
- A quarta sessão forma o preço para as 17 horas do dia seguinte (das 8 Horas às 24 Horas do dia D);
- A quinta sessão forma o preço para as 13 horas do dia seguinte (das 12 Horas às 24 Horas do dia D);
- A sexta sessão forma o preço para as 9 horas do dia seguinte (das 16 Horas às 24 Horas do dia D).

Como é possível observar na figura 2.9, o Mercado Intradiário compreende todas as horas do dia e é dividido nas seis sessões anteriormente descritas.

Os agentes compradores, de forma a participarem no Mercado Intradiário, deverão já ter participado na correspondente sessão do Mercado Diário ou ter celebrado um contrato bilateral físico. Os agentes produtores, de modo a participarem adequadamente, deverão ter participado na correspondente sessão do Mercado Diário, ter participado na celebração de um contrato bilateral físico, ou ter mostrado indisponibilidade para participar no Mercado Diário e posteriormente ter atingido as condições necessárias para a sua participação [32].

Este mercado complementar permite a gestão dos desvios a curto prazo previstos para os programas de contrato entre a produção e o consumo da energia elétrica, possibilita correções ou compensações nos programas diários contratuais estabelecidos, quando



Figura 2.9: Sessões de funcionamento do mercado intradiário [32].

ocorrem situações de eventuais congestionamentos na rede elétrica, possíveis avarias de equipamentos incorporados na rede, ou outro tipo de eventos. Constituindo por estas razões anteriormente mencionadas, um mecanismo de grande valência e essencial para o sistema elétrico.

### 2.5.3 Mercado a Prazo

O Mercado a Prazo do [MIBEL](#) caracteriza-se como um mercado organizado e regulamentado, gerido pelo pólo português [OMIP](#), tendo um papel preponderante no Mercado Ibérico. Este mercado opera na Península Ibérica desde Julho de 2006.

Este tipo de Mercado oferece aos seus agentes participantes a possibilidade de negociarem e transacionarem instrumentos de gestão de risco sob a forma de derivados com liquidação física ou financeira.

Os instrumentos disponibilizados no Mercado a Prazo são contratos de compra e venda de eletricidade, para um dado horizonte temporal futuro, podendo variar entre uma semana, um mês, um trimestre ou um ano e a sua celebração está sujeita a regras especificadas pelo mercado [14, 33]

A utilização deste tipo de instrumentos visa procurar de proteger a posição dos seus intervenientes, face à exposição ao risco inerente à imprevisibilidade e volatilidade de preços presentes no Mercado Diário. Consoante a necessidade de exposição ao risco, os agentes participantes devem optar pela tipologia de instrumentos mais adequada para salvaguardarem eficazmente as suas posições.

Para atuar neste mercado, é necessário que os agentes obtenham a qualidade de Membro Negociador atribuída pelo [OMIP](#). Após a sua obtenção os membros podem atuar

exclusivamente por conta própria, por conta de terceiros, ou por conta própria e de terceiros [34].

O Mercado a Prazo disponibiliza para negociação diferentes contratos, tais como, contratos de Futuros, contratos de Opções, contratos *Forward* e contratos por Diferenças, estes instrumentos diferenciam-se pelas características apresentadas e pela robustez apresentada na cobertura e gestão de risco.

Podem identificar-se dois níveis distintos na forma como poderá ser realizada a negociação no Mercado a Prazo [33]:

- Negociação em Contínuo: processa-se dentro do horário de negociação definido no Regulamento de Negociação;
- Negociação em Leilão: A realização de cada sessão de leilão ocorre nas 4 primeiras quartas-feiras de cada mês, onde existem obrigações de compra para os comercializadores de último recurso ibéricos.

No OMIP, as liquidações de operações podem ser efetuadas em mercado de balcão (OTC). Estas liquidações são firmadas entre as duas partes envolvidas, cabendo ao mercado organizado a responsabilidade de assumir o risco de crédito de ambas contrapartes [14, 33].

Por fim, é importante referir que a importância da contratação bilateral no MIBEL é cada vez mais notória e no OMIP os produtos mais transacionados e por isso mais comuns são os contratos de Futuros [33]. Estes instrumentos na forma padronizada são o foco da presente dissertação.





## AGENTES COMPUTACIONAIS AUTÓNOMOS E SISTEMAS INTELIGENTES

O presente capítulo pretende contextualizar a importância das tecnologias computacionais nos dias de hoje, nomeadamente nos mercados de eletricidade. Os crescentes avanços tecnológicos aumentam gradualmente a sua preponderância em todos os domínios, e a tecnologia utilizada enriquece o contributo dado ao estudo e análise destes mercados. Este capítulo apresenta as principais características dos sistemas multi-agente e de agentes computacionais autónomos, e o papel que ambos desempenham no estudo dos Mercados de Energia. Inicialmente, serão abordados os conceitos de agente e sistema multi-agente [SMA](#), apresentando os traços gerais das características dos agentes autónomos. De seguida, serão dadas a conhecer plataformas de desenvolvimento de [SMA](#), recorrendo a exemplos de algumas dessas plataformas, com ênfase para a plataforma *Java Agent Development Framework* ([JADE](#)), utilizada no desenvolvimento do simulador [MATREM](#) e do módulo [EMS-FC](#). No final do capítulo serão descritos alguns exemplos de ferramentas baseadas na tecnologia multi-agentes, utilizadas na simulação de mercados de eletricidade.

### 3.1 Sistemas Multi-Agente

A liberalização do sector elétrico despertou um aumento significativo do número de empresas participantes no mercado. Este aumento tornou o mercado mais competitivo, aumentando também a sua complexidade, dada a alta imprevisibilidade comportamental dos participantes. Todos os participantes no mercado são movidos pelos seus próprios interesses, tentando moldar o seu comportamento de acordo com estratégias que proporcionem lucros.

A necessidade de procura de novas estratégias causou o desenvolvimento de soluções computacionais que auxiliem os participantes no mercado a modelar o seu comportamento, a compreender melhor as variadas relações entre os participantes, e apoiando-os na tomada de decisão.

Além da característica anteriormente referida, existe a limitação de informação e capacidade de resolução de problemas por parte de alguns agentes, dado que o conhecimento relativo ao mercado encontra-se partilhado pelas diversas entidades. Não sendo possível um controlo global, é necessário a interação e cooperação entre participantes. Os agentes computacionais surgem de forma natural como um recurso para modelar os **MEs**, munindo as entidades participantes de uma maior capacidade de resolução de problemas complexos.

Os **SMA** são uma solução bastante interessante para simular as relações de negociação existentes entre os agentes participantes de um mercado de eletricidade, onde cada agente possui objetivos individuais e características próprias, originando diferentes formas de atuar e decidir. Estes participantes podem ser representados por Agentes Computacionais Autónomos que negociam contratos bilaterais entre si, com o objetivo de estabelecerem um acordo benéfico para ambos.

Os **SMA** são sistemas compostos por múltiplos agentes que detêm um comportamento autónomo juntamente com uma componente social, interagindo entre si por forma a solucionar um problema específico ou atingirem determinados objetivos.

Normalmente, os agentes não possuem um objetivo comum, podendo existir frequentemente a necessidade de cooperarem entre si de modo a alcançarem os seus objetivos, embora exista também a possibilidade de conflitos com outros agentes, visto terem objetivos individuais [18].

Para modelar um mercado de eletricidade com recurso à utilização de tecnologia de agentes, é prioritário recorrer a uma plataforma de comunicação entre agentes computacionais, garantindo uma determinada organização com estruturas que privilegiem a

comunicação e a interação entre os agentes envolvidos.

Utilizando protocolos de interação social, baseados no comportamento humano, torna-se possível a negociação entre os diversos participantes no mercado, tendo em conta a intenção dos agentes atingirem os objetivos pré-determinados, tal como ocorre entre entidades reais [35].

De forma a garantir a fiabilidade dos resultados extraídos e o correto funcionamento do sistema, a coordenação assume um papel de elevada importância, sendo responsável por realizar a gestão de todas as interações e dependências entre os vários agentes e o sistema.

### 3.1.1 Agentes Computacionais Autónomos

Não existe uma definição única de agente, dado que o conceito é vago. Assim são possíveis diversas definições. Uma das mais populares e aceites na comunidade científica é apresentada por Wooldridge e Jennings [36]:

*"Um agente é uma entidade real ou abstrata capaz de agir sobre ela mesma e sobre o ambiente que a rodeia, e que dispõe de uma representação, ainda que parcial, desse mesmo ambiente. Num universo multi-agente, pode comunicar com outros agentes, resultando o seu comportamento das suas observações, conhecimento, e interações com outros agentes."*

A capacidade de resolver adversidades associadas a uma componente social ganha bastante importância na tecnologia presente nos agentes autónomos. No âmbito dos mercados de eletricidade, os agentes devem possuir as seguintes propriedades para aproximar o seu comportamento à realidade [22]:

- **Autonomia:** o agente é capaz de operar sem a intervenção direta de humanos ou de outros agentes administrativos, devendo ser capaz de interagir e comunicar com outros agentes e o ambiente, visto ser dependente destas interações (mesmo sendo um agente autónomo);
- **Reatividade:** o agente percebe o seu ambiente e responde rapidamente às mudanças que vão sucedendo nesse mesmo ambiente;
- **Pró-Atividade:** o agente tem a capacidade de tomar a iniciativa com vista a alcançar os seus objetivos, não se limitando a atuar consoante as alterações do seu ambiente;
- **Habilidade Social:** o agente tem a capacidade de interagir com outros agentes ou mesmo com humanos, através de uma linguagem que permita a comunicação entre agentes.

Além das capacidades anteriormente descritas, os agentes podem possuir outras, nomeadamente a capacidade de interação, mobilidade, comunicação, cooperação e flexibilidade. A capacidade que assume um papel fulcral é a capacidade de perceber o ambiente em que está inserido, possibilitando ao agente agir de forma autónoma em diferentes tipos de ambiente.

Os agentes podem ser divididos em diversas categorias, de acordo com algumas propriedades, tais como a mobilidade, o relacionamento entre agentes, a capacidade de perceção e a memória.

Relativamente à mobilidade, existem duas categorias: móveis e situados/estacionários [37]:

- Agentes móveis: caracterizam-se pela habilidade que assumem de se movimentarem pela rede, sendo úteis para lidar com a heterogeneidade da rede e na tomada de decisões envolvendo uma grande quantidade de informação;
- Agentes situados ou estacionários: são opostos aos móveis, ou seja, fixos num ambiente e/ou plataforma computacional.

De acordo com o seu comportamento, os agentes podem dividir-se em agentes competitivos e colaborativos:

- Agentes Competitivos Puros: são agentes que privilegiam a competição entre si com a finalidade de atingirem os objetivos pré-estabelecidos, não colaborando com outros agentes;
- Agentes Colaborativos: cada agente realiza um dado conjunto de tarefas específicas, de forma coordenada, tendo em vista o mesmo objetivo.

Podemos categorizar os agentes quanto à perceção e memória, dividindo-os em agentes reativos e cognitivos:

- Agentes Reativos: são agentes que não têm memória, ou seja, não têm capacidade de previsão ou antecipação de qualquer tipo de ações futuras. Estes agentes reagem a estímulos, sendo que atuam mais em sociedades;
- Agentes Cognitivos: são agentes que têm memória, detêm um poder de raciocínio elevado sobre as ações realizadas anteriormente, possuindo a capacidade de planejar ações futuras. Têm uma elevada capacidade de resolução de problemas de forma autónoma, capacidade que advém do elevado conhecimento do ambiente que os rodeia. Cada agente tem objetivos particulares.

Todos os tipos de agente exercem uma função importante no ambiente onde estão inseridos. Apesar da importância do papel que desempenham, existem agentes que não usufruem de todas as propriedades anteriormente descritas.

No contexto dos mercados de eletricidade, a simulação com recurso a agentes detem duas importantes vantagens. Uma delas está relacionada com o facto dos SMA oferecerem uma forma mais realista de modelação.

Outra das vantagens, está relacionada com o facto dos SMA serem mais apropriados para modelação de sistemas de larga-escala, visto o envolvimento de intervenientes distintos que interagem entre si e que adotam diferentes posições, funcionalidades, comportamentos e decisões. Estas vantagens têm importância real dada a elevada complexidade do mercado elétrico e a vasto leque de comportamentos observados na interação entre participantes [22].

### 3.1.2 Plataformas Computacionais para SMA

Esta secção apresenta três plataformas computacionais baseadas em agentes para SMA, nomeadamente o *Recursive Porous Agent Simulation Toolkit* (REPAST), o *Open Agent Architecture* (OAA) e o *Java Agent Development Framework* (JADE). A plataforma JADE, dada ser a plataforma utilizada para o desenvolvimento do simulador MATREM, será alvo de um destaque particular.

#### 3.1.2.1 *Recursive Porous Agent Simulation Toolkit*

O *Recursive Porous Agent Simulation Toolkit* (REPAST) é uma plataforma de modelação de agentes desenvolvida na Universidade de Chicago pela *Social Science Research Computing*. Esta plataforma oferece a possibilidade de estudar a evolução dos agentes e dos ambientes onde estão inseridos.

A plataforma REPAST possui três versões diferentes, denominadas de *REPAST J*, *REPAST.NET* e *REPAST PY*, onde as suas funcionalidades são adaptadas a três linguagens de programação diferentes, JAVA, .NET e Python, respetivamente.

Esta plataforma é amplamente utilizada para o desenvolvimento de sistemas no âmbito das ciências sociais, dado o seu foco ser o comportamento social dos agentes. Os elementos caracterizadores do REPAST são utilizados em diversas áreas, nomeadamente análise industrial, sistemas evolutivos, modelação de mercados, entre outros [18].

Sendo o foco de estudo o comportamento social dos agentes, o [REPAST](#) foi a plataforma selecionada para o desenvolvimento do simulador [EMCAS](#), descrito na Secção 3.2.1.

### 3.1.2.2 *Open Agent Architecture*

O *Open Agent Architecture* ([OAA](#)) é uma plataforma desenvolvida pelo Centro de Investigação Artificial da *SRI International*, utilizada como ferramenta de investigação para o desenvolvimento de [SMA](#). Esta plataforma utiliza a *Interagent Communication Language* ([ICL](#)), como a linguagem de comunicação comum a todos os agentes e para a partilha de informação, realização de ações e consulta de dados.

A estrutura da plataforma [OAA](#) recorre a um agente “facilitador”, que tem como objetivo coordenar os agentes participantes, utilizando estratégias de coordenação independentes do domínio da aplicação. Esta ferramenta tem a capacidade de suportar uma vasta multiplicidade de agentes, independentemente da linguagem de programação usada na sua criação, ou do sistema operativo onde serão executados. Esta capacidade é vista como uma vantagem do [OAA](#).

A plataforma [OAA](#) foi utilizada no desenvolvimento do simulador *Multi-agent Simulator for Competitive Electricity Markets* ([MASCEM](#)), que irá ser descrito na Secção 3.2.2.

### 3.1.2.3 *Java Agent Development Framework*

O *Java Agent Development Framework* ([JADE](#)), tal como o nome indica, é uma plataforma computacional desenvolvida com o recurso à linguagem de programação JAVA. O código fonte desta ferramenta é disponibilizado a todos os utilizadores que o pretendam, podendo classificar-se o [JADE](#) como uma plataforma *open-source*. Esta característica de partilha com qualquer utilizador é bastante importante, contribuindo para a evolução da plataforma.

Esta ferramenta computacional possui propriedades que possibilitam o desenvolvimento de agentes computacionais, tais como a mobilidade de agentes, tornando possível a execução em diferentes máquinas e sistemas operativos. A configuração é controlada através de uma interface gráfica [35, 38].

O [JADE](#) permite que as aplicações Multi-Agente sejam desenvolvidas de acordo com as especificações da *Foundation for Intelligent Physical Agents* ([FIPA](#)). Para que os sistemas sejam munidos de interoperabilidade, estes necessitam de garantir que a comunicação e a troca de informação sejam realizadas sem conflitos.

As características do JADE para a interoperabilidade são as seguintes [18, 38]:

- Serviço de nomes: o nome de um agente serve para indicar a sua localização;
- Serviço de páginas amarelas: é possível um agente procurar outros agentes através do serviço que disponibiliza;
- Aspectos Extra-Agente: todos os outros aspectos que não fazem parte do agente, independentes das aplicações, tais como o transporte, codificação, interpretação de mensagens e ciclo de vida do agente, devem-se encontrar devidamente descritos.

A plataforma [JADE](#) foi a plataforma Multi-Agente utilizada durante a presente dissertação.

## 3.2 Simuladores Multi-Agente de Mercados de Eletricidade

Esta secção apresenta as principais características de quatro simuladores Multi-Agente de [MEs](#), nomeadamente [EMCAS](#), [MASCEM](#), [SEPIA](#) e o [MATREM](#). Importa referir que durante as últimas décadas a importância dos simuladores Multi-Agentes tem aumentado gradualmente, devido à sua capacidade de análise bastante realista do mercado e dos agentes intervenientes.

### 3.2.1 *Electric Market Complex Adaptive System*

O *Electricity Market Complex Adaptive System* ([EMCAS](#)) é um simulador desenvolvido pelo Argonne National Laboratory, pertencente ao Centro de Energia, Ambiente e Sistemas de Análise Económica. Este simulador foi implementado recorrendo à plataforma [REPAST](#).

O EMCAS surgiu como uma ferramenta para estudar a reestruturação vivida no sector elétrico, a influência da concorrência nas variações dos preços, os limites operacionais e os critérios de segurança da rede [39]. Importa referir que este simulador é frequentemente utilizado pelo sector elétrico, nomeadamente pela [REN](#), com o intuito de analisar o [MIBEL](#) [35].

O utilizador deste simulador pode simular o comportamento dos agentes nos diversos tipos de mercados de energia, tais como o mercado em bolsa e a contratação bilateral, tendo em conta as limitações operacionais do sistema utilizado. Podem ser criados vários tipos de agentes participantes no mercado, nomeadamente produtores, consumidores, o operador de mercado, o operador de sistema, entidades de distribuição e entidades de transmissão.

Estes agentes são munidos da capacidade de adaptação a acontecimentos, moldando o seu comportamento consoante os seus sucessos e insucessos, e possuindo capacidades de decisão, aprendizagem e adaptação. Estas propriedades possibilitam-lhes a capacidade de análise das várias formas de licitação disponíveis [18, 40].

A capacidade de decisão apoia-se na informação de cada agente, e na informação pública disponibilizada relativamente a outros agentes participantes no mercado e ao próprio mercado [20].

### 3.2.2 *Multi-Agent System that Simulates Competitive Electricity Markets*

O **MASCEM** é um simulador Multi-agente desenvolvido através da plataforma **OAA**, com recurso à linguagem de programação **JAVA**. O **MASCEM** foi desenvolvido pelo Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão (**GECAD**) do Instituto Superior de Engenharia do Porto [35, 41].

O **MASCEM** é fundamentalmente um simulador de apoio à tomada de decisão em diferentes tipos de mercado, tais como o mercado em bolsa e a contratação bilateral, tendo como intuito simular o maior número de modelos de mercado e agentes possível, permitindo ao utilizador analisar as decisões tomadas pelos vários agentes.

A modelação de agentes baseia-se em técnicas de Inteligência Artificial, sendo contemplados agentes produtores, consumidores, retalhistas, operador de mercado, operador de sistema e um agente “facilitador”, responsável por coordenar e monitorizar as simulações dos **MEs** [42].

A simulação recorre a diferentes estratégias de licitação, que podem ser dinâmicas e variar no tempo, tendo em conta o comportamento dos outros participantes no mercado, bem como informações históricas referentes ao mercado ou relativas a decisões anteriores dos restantes agentes [41].

### 3.2.3 *Simulator for the Electric Power Industry Agent*

O *Simulator for the Electric Power Industry Agent* (**SEPIA**) foi desenvolvido pelo Centro de Tecnologia de Honeywell e pela Universidade de Minnesota. O **SEPIA** é um simulador específico para o **MEs**, nomeadamente para o modelo de contratação bilateral. É baseado em agentes e tem como objetivo conhecer melhor o comportamento das entidades inseridas no **MEs**.



Este simulador permite localizar as potências de geração e de carga, sendo capaz de identificar as limitações operacionais do sistema e de prever os desvios aos critérios de segurança estabelecidos. Os agentes têm o intuito de modelar as componentes físicas do sistema, nomeadamente as entidades produtoras, consumidoras e o operador de sistema.

Descrevendo de forma resumida o processo, os agentes consumidores disponibilizam o seu perfil de carga, ou seja, os valores de procura da energia. De seguida, interagem com os agentes produtores visando a definição de termos e condições dos contratos bilaterais, recebendo propostas de oferta de energia, onde constam o preço e a quantidade a ser transacionada. Os agentes produtores possuem um módulo adaptativo, com a componente de aprendizagem *Q-learning*, de modo a otimizarem as suas curvas de oferta [43].

Quando ambos os agentes chegam a acordo, o operador de sistema é informado, ficando assim responsável por avaliar o cumprimento dos critérios de segurança da rede, de agendar as transações e de comunicar a aprovação [39].

#### 3.2.4 *Multi-Agent Trading in Electricity Markets*

O simulador *Multi-Agent Trading in Electricity Markets* (**MATREM**) foi desenvolvido pelo **LNeg** no âmbito do projeto **MANREM** (*Multi-agent Negotiation and Risk Management in Electricity Markets*), na linguagem de programação JAVA, tendo a plataforma **JADE** como software base.

Numa primeira fase do seu desenvolvimento, o **MATREM** apenas permitia recriar a negociação no mercado de contratação bilateral. Posteriormente, o simulador foi alvo de significativas melhorias, onde foram acrescentadas funcionalidades que permitiam simular o mercado em bolsa (diário e intradiário).

Para recriar o processo de negociação e a obtenção de resultados é necessário efetuar de forma sequencial vários processos, tais como, a configuração dos agentes participantes, a escolha do modelo de mercado e o algoritmo de cálculo de preços (o simulador possui dois algoritmos de cálculo de preços).

O agente *Personal Assistant* assume um papel determinante na simulação, sendo responsável pela ligação entre o utilizador e interface gráfica do simulador e por estabelecer a comunicação efetuada entre os agentes participantes e o operador de mercado presente em cada simulação. O operador de mercado tem a responsabilidade de executar o cálculo dos preços através de algoritmos. [8, 44]

A presente dissertação tem como objetivo o desenvolvimento de um módulo extensivo do simulador [MATREM](#), de forma a aumentar as capacidades de simulação, com a possibilidade de recriar a negociação de contratos de futuros no referido simulador. O módulo desenvolvido no âmbito da presente dissertação, o [EMS-FC](#), é descrito na secção [5.1](#)

## CONTRATOS PADRONIZADOS DE ENERGIA: CONTRATOS DE FUTUROS

O presente capítulo aborda o funcionamento geral dos contratos padronizados no mercado de Energia. São apresentadas detalhadamente as principais características dos Contratos de Futuros em Mercado de Energia, realçando a importância dos mesmos no Mercado. Importa reforçar que este tipo de contratação bilateral na sua forma padronizada foi o foco da presente dissertação e todas as particularidades inerentes aos contratos e à dinâmica da negociação abordadas no presente capítulo foram tidas em conta no desenvolvimento do módulo [EMS-FC](#).

## 4.1 Introdução

Os mercados de eletricidade, tal como outros mercados financeiros, são caracterizados por uma enorme complexidade e imprevisibilidade na sua evolução diária. Estas características do mercado fazem com que os participantes optem por estratégias bastante mais exigentes e com o principal intuito de encontrar as melhores oportunidades de interação entre os agentes intervenientes no mercado, ou seja, oportunidade de obterem um acordo o mais vantajoso possível economicamente.

Cada vez mais as interações estratégicas entre agentes possuem um grau elevado de complexidade, sendo necessário compreendê-las da melhor forma, pois tal compreensão é cada vez mais preponderante para uma tomada de decisão eficaz, que satisfaça as pretensões de cada um. Entender as interações entre agentes nos mercados de energia torna-se importante para quem é responsável por assegurar a estabilidade e eficiência económica dos mesmos, para que auxiliem na tomada de decisão, de forma a potencializar ao máximo os seus lucros.

No que diz respeito à transação de energia, o mercado em bolsa assume um papel importante, participando no mesmo diversos agentes. Neste mercado, o preço determinado, através dos agentes de oferta e compra, pode variar diariamente tornando-o bastante volátil. Esta característica do mercado em bolsa assume cada vez mais um papel de relevo, levando a que muitos agentes optem pela contratação bilateral. Esta procura deve-se muito ao facto deste tipo de contratação possibilitar um preço fixo de compra e venda, para períodos futuros a serem definidos durante a negociação, tentando assim combater a flutuação de preços existente no mercado diário.

Este tipo de contratação é cada vez mais recorrente, principalmente por ser munida de uma característica financeira mais estável para todos os agentes intervenientes. Não só por permitir combater a elevada volatilidade dos preços estabelecidos em mercado, mas também pelo facto de possibilitar aos agentes participantes estabelecerem um acordo que cobre as exigências e que satisfaça os interesses de ambos.

Embora a característica do risco financeiro seja muito relevante, os contratos bilaterais acarretam o risco de ser estabelecido um mau acordo entre os agentes participantes. Este mau acordo pode ser causado por vários fatores, tais como uma estratégia inadequada de um agente, ou até eventos exteriores inesperados que poderão ocorrer após ser celebrado o acordo. Além da possibilidade de um mau acordo, os contratos bilaterais envolvem um compromisso entre as partes, ou seja, ambas as partes são obrigadas a cumprir o que ficou acordado entre si. Esta aspeto pode criar um certo receio entre os agentes participantes, podendo deste modo diminuir a possibilidade de acordo.

Existem vários tipos de contratos bilaterais, diferenciando-se pelas suas características próprias e pela forma como tentam combater a volatilidade de preços presente no mercado em bolsa. De entre os tipos existentes, os Contratos de Futuros são atualmente os mais transacionados no [OMIP](#), sendo vistos como um tipo de instrumento financeiro bastante atrativo para os agentes económicos.

### 4.2 Contratos Padronizados: Contratos de Futuros

No [MIBEL](#), o [OMIP](#) é a entidade responsável por gerir o mercado a prazo. O mercado a prazo de eletricidade é um mercado organizado que oferece instrumentos de gestão de risco sob a forma de derivados. Estes instrumentos são referentes a contratos de compra e venda de energia para uma determinada data no futuro. Estes contratos devem estar de acordo com as regras específicas deste mercado, as quais são determinadas pelo [OMIP](#). O tipo de instrumentos transacionados difere consoante as necessidades de gestão de risco e de troca de eletricidade pelos diferentes agentes.

Compete ao [OMIP](#) a organização e a gestão do Mercado e dos agentes intervenientes, devendo desempenhar as funções necessárias e adequadas ao regular funcionamento do mesmo, nomeadamente [\[45\]](#):

- Deliberar sobre a admissão dos Participantes, bem como da sua suspensão ou exclusão;
- Definir os tipos de Contratos admitidos à negociação;
- Definir os tipos de Contratos elegíveis para negociação;
- Gerir a negociação dos Contratos;
- Assegurar o regular funcionamento da Plataforma de Negociação;
- Promover, em coordenação com o [OMIClear](#), o registo das Operações;
- Solicitar aos Participantes as informações necessárias ao exercício das suas competências;
- Prestar informação relevante aos Participantes e ao público, relativamente ao funcionamento do Mercado, designadamente através da publicação do Boletim de Mercado;
- Prestar informação às Entidades de Supervisão, nos termos da Regulamentação Nacional;
- Supervisionar a conduta dos Participantes e o cumprimento dos deveres de informação;

- Aprovar as regras relativas ao procedimento disciplinar e exercer o poder disciplinar relativamente aos Membros Negociadores.

O OMIP possibilita que os contratos sejam celebrados e negociados em dois distintos tipos de mercados com características distintas: o mercado organizado e o mercado de balcão (OTC).

No mercado organizado, os contratos transacionados são padronizados com características específicas. Estes contratos padronizados possuem quase todas as características já pré-estabelecidas à partida, só sendo possível negociar o preço dos contratos. Assim o preço é o único elemento remanescente para negociação em bolsa neste tipo de contratos.

Esta padronização de contratos facilita a sua negociação em mercado organizado. A padronização dos contratos de eletricidade reduz os custos de transação e consequentemente aumenta a liquidez destes produtos financeiros, dando desta forma origem a uma melhor gestão do risco [46].

Ao contrário do que sucede no mercado organizado, no mercado de balcão os contratos habitualmente não são padronizados. Neste mercado, ambas as partes entram em contacto e acordam as condições do contrato de forma a satisfazer o interesse e necessidades de ambas as partes.

Esta facilidade de negociação deve-se à entidade intermediária presente em todas as operações, a câmara de compensação, que através dessa intermediação tenta anular todo o risco de crédito nas bolsas de derivados, assumindo toda a responsabilidade de cumprimento das obrigações das duas partes.

Ao contrário do que sucede no mercado em bolsa, no mercado de balcão as duas partes entram em contacto direto, não existindo um intermediário. Por isso existe um maior risco de incumprimento da contraparte quando comparado com o mercado em bolsa, dado não haver quem assegure a contraparte no caso de uma das partes falhar o seu compromisso na data acordada.

A câmara de compensação garante a quase inexistência de risco de crédito, exigindo garantias a ambos os participantes no contrato através de um depósito no momento da assinatura, habitualmente denominado como margem inicial, tal como uma margem de manutenção, na qual o participante deve manter um saldo mínimo como garantia em caso de incumprimento. Estas duas medidas da câmara de compensação tentam minimizar o risco de incumprimento das obrigações de uma das partes.

No **MIBEL**, a **OMIClear** é responsável por assumir a função de câmara de compensação e por efetuar e coordenar todas as operações para garantir a anulação de risco de crédito.

A bolsa de derivativos pode-se caracterizar pela padronização de contratos negociados, quase inexistência de risco de crédito e pela rapidez de execução das ordens de transação. Esta padronização presente nos contratos negociados no mercado de bolsa teve como consequência um aumento do número de transações, conferindo uma maior liquidez quando comparado ao mercado de balcão. A elevada liquidez origina um maior interesse por parte de possíveis investidores [47].

Os compradores e vendedores podem negociar o número de contratos que desejarem, de modo a atingirem a quantidade do ativo pretendida, que é estipulada pela bolsa. Deste modo, um investidor pode transacionar múltiplos contratos de forma simultânea [48].

No **MIBEL**, para a negociação em bolsa, o **OMIP** disponibiliza três tipos de contratos: Futuros, *Forwards* e Opções. Neste mercado, a padronização de um contrato de eletricidade impõe que sejam pré-definidas a dimensão de cada contrato, ou seja, o nominal, a unidade em que se expressa o preço e o valor mínimo de variação do preço (*tick*) bem como as condições de entrega.

Importa referir que todas as especificações dos contratos de Futuros negociados no mercado a prazo do **MIBEL**, abordadas e descritas no presente capítulo, estão definidos em documentos técnicos disponibilizados nas plataformas online do **OMIP** e da **OMIClear**, para consulta de todos os agentes de mercado.

No **MIBEL**, os contratos de Futuros são contratos padronizados negociados em bolsa, sendo um acordo legal de compra ou venda de energia para um determinado horizonte temporal, em que o comprador se compromete a adquirir eletricidade no período de entrega e o vendedor se compromete a colocar essa mesma eletricidade, a um preço determinado no momento da transação. Dada a padronização dos Contratos de Futuros neste mercado, o preço estabelecido entre as duas partes é o único elemento do contrato que é negociável.

Os contratos de Futuros disponibilizados pelo **OMIP** envolvem o fornecimento/receção nocional de energia elétrica a uma potência constante de 1 MW, durante todas as horas do Período de Entrega, sendo a energia valorizada, diariamente, com base no Preço de Referência *Spot*. Este tipo de contrato define-se como negociável, na medida em que as partes envolvidas no mesmo podem negociar e transferir a sua obrigação desde o momento de aquisição do contrato até à data de entrega estipulada no mesmo, momento em que o ativo subjacente deverá ser entregue ou que haja lugar à liquidação financeira.

Cada contrato padronizado implica o fornecimento ou receção nocional de eletricidade a uma potência constante de 1 MW, sendo este um termo padronizado do contrato, mas importa referir que os agentes envolvidos no acordo podem estabelecer entre si que o fornecimento/receção da energia seja a uma potência constante superior, acordando entre si o número de contratos necessários para estabelecer o número de MW que ambos os agentes pretendem negociar.

Sendo que o nominal de cada contrato de futuros listado pelo OMIP é de 1 MW, podem existir dois tipos de produto no que diz respeito ao perfil de carga do mesmo:

- o contrato do tipo *Baseload*, que oferece a mesma quantidade de energia para todas as horas de um determinado período;
- o contrato do tipo *Peakload*, que oferece a mesma quantidade de energia para 12 horas de pico dos dias úteis (das 8:00 até as 20:00) constante de um determinado período de entrega.

Relativamente à forma de liquidação dos contratos de Futuros na data de maturidade, os produtos podem ter dois tipos distintos de liquidação: física ou financeira. Como a própria designação indica, a liquidação física pressupõe a entrega dos ativos negociados, ou seja, entrega física de eletricidade. Por sua vez, os contratos com liquidação financeira ou *cash settlement*, correspondem à liquidação meramente financeira das posições em aberto, significa que, na data do vencimento do contrato não há entrega, por parte do vendedor, do ativo subjacente do contrato, mas apenas o apuramento do ganho ou perda do respetivo contrato e a sua liquidação financeira.

Para os contratos de liquidação física, o local de entrega de eletricidade deve ser predefinido, sendo que no caso de contratos negociados no mercado Ibérico de eletricidade, o local de entrega deve estar compreendido entre a rede continental de Espanha e Portugal.

Durante o período de negociação, encontram-se listados contratos para diferentes períodos de entrega, consoante a maturidade pretendida por ambas as partes. No último dia de negociação de cada semana são listados todos os contratos com entrega nos dias da semana seguinte. São também listados contratos para entrega nos dois próximos fins-de-semana, ou seja, no último dia de negociação de cada semana é listado o contrato com entrega no fim-de-semana da semana seguinte e assim sucessivamente.

Em todas as sessões estão abertos à negociação três contratos que correspondem às três semanas mais próximas, sendo que o primeiro dia de entrega da semana negociável mais próxima ocorre na segunda-feira seguinte. Estão também abertos à negociação seis contratos cujos períodos de entrega correspondem aos seis meses mais próximos, seis ou



sete contratos cujos períodos de entrega correspondem aos seis ou sete trimestres mais próximos, e três ou quatro contratos cujos períodos de entrega correspondem aos 3 ou 4 anos seguintes.

O **OMIP** define o período de entrega de um contrato como o período subsequente ao Período de Negociação, durante o qual ocorre a liquidação financeira das posições estipuladas no contrato e, quando for o caso, a entrega física do ativo Subjacente, neste caso, a eletricidade, conforme estipulado nas Cláusulas Contratuais Gerais.

Nos contratos de Futuros, o período de entrega pode assumir vários tipos de maturidade, tais como: dia, fim-de-semana, semana, mês, trimestre e ano. Os contratos com entrega física, independentemente de serem do tipo *Baseload* ou *Peakload*, só podem assumir 4 tipos de maturidade: semana, mês, trimestre e ano. Os contratos do tipo *Baseload* com liquidação financeira podem assumir seis tipos de maturidade: dia, fim-de-semana, semana, mês, trimestre e ano. Por sua vez, os contratos do tipo *Peakload* com entrega financeira podem assumir 5 tipos de maturidade: dia, semana, mês, trimestre e ano.

O valor nominal de cada contrato é publicado pelo **OMIP**. Este valor é calculado através do produto entre a potência constante de 1 MW pelo número de horas de entrega por dia e pelo número de dias de entrega. Este valor nominal baseia-se no calendário natural, e está dependente do período de entrega subjacente ao contrato. O valor nominal é referente a cada contrato padronizado e com base na potência constante de 1 MW de cada contrato (se forem negociados mais contratos entre os agentes o valor nominal é proporcional ao número de contratos).

O número de horas de entrega por dia é calculado consoante o tipo de perfil de carga do contrato, sendo 24 horas para um contrato do tipo *Baseload* e 12 horas para um contrato do tipo *Peakload*. Por sua vez, no caso de o contrato ser do tipo *Peakload*, apenas contribuem os dias de semana, entre segunda-feira e sexta-feira. O valor nominal de um contrato tem como unidades o MWh.

A forma de cotação de um contrato é descrita em Euros por MWh. A flutuação mínima de preços (*tick*) é de um cêntimo de Euro por MWh (0,01€/MWh), sendo definido pelo **OMIP**. O valor do *tick* (em Euros) é função do valor nominal de cada contrato, sendo calculado através do produto entre o *tick* e o valor nominal do contrato.

A negociação de todos os contratos ocorre em contínuo ou em leilão, de acordo com o calendário e horário de negociação divulgado pelos **OMIP**. As referências horárias utilizadas pela entidade responsável pelo mercado reportam-se à hora central europeia (**CET**).

## CAPÍTULO 4. CONTRATOS PADRONIZADOS DE ENERGIA: CONTRATOS DE FUTUROS

---

Para todos os contratos, o [OMIP](#) disponibiliza toda a informação relativamente ao valor nominal, o primeiro e o último dia de negociação, tal como o primeiro e último dia de entrega. Encontra-se estipulado em aviso emitido pelo [OMIP](#) que são considerados dias de negociação todos os dias com exceção de sábados e domingos e também os dias fixos e flutuantes considerados “*closing days*” no sistema *TransEuropean Automated Real-Time Gross settlement Express Transfer* ([TARGET](#)).

O período de negociação é definido como o período compreendido entre o primeiro dia de negociação e o último dia de negociação, inclusive. O primeiro dia de negociação de um contrato é o primeiro dia onde se encontra disponível para negociação esse contrato, tendo em conta o que foi mencionado anteriormente, relativamente aos contratos que se encontram disponíveis para negociação, consoante o seu período de entrega. O último dia de negociação de um contrato é o último dia em que esse contrato se encontra listado para negociação, variando geralmente entre o dia de negociação anterior ao primeiro dia de entrega ou o dia de negociação anterior à antevéspera do primeiro dia de entrega, consoante o tipo de contrato.

Para os contratos de tipo *Baseload*, o período de entrega é o período compreendido entre as 00:00 h do primeiro dia de entrega e as 24:00 h do último dia de entrega, inclusive. Para os contratos de tipo *Peakload*, o período de entrega inclui todas as doze horas, entre as 8:00 h e as 20:00 h, de todos os dias de semana, entre segunda-feira e sexta-feira, existentes entre as 8:00 h do primeiro dia de entrega e as 20:00 h do Último Dia de Entrega. Para ambos os tipos, é aplicada a [CET](#).

Na data de vencimento do contrato ocorre a liquidação. Nos contratos de entrega física, são liquidadas duas componentes: a energia correspondente é enviada para liquidação física no Mercado Diário gerido pelo [OMIE](#) e ocorre a liquidação financeira do contrato. Nos contratos de liquidação financeira, apenas esta componente é liquidada, existindo apenas uma liquidação das posições.

Durante o período de negociação dos contratos, é efetuada uma liquidação diária de ganhos e perdas (*market-to-market*), conforme metodologia e procedimentos definidos em circulares da [OMIClear](#).

Durante o período de entrega, o [OMIClear](#) efetua a operação de valorização diária de cada contrato, e processa diariamente a liquidação financeira do Valor de Liquidação na Entrega ([VLE](#)), resultante do somatório das diferença diárias para os dias de entrega do contrato entre o Preço de Referência *Spot* (*prs*) e o Preço de Referência de negociação ([PRN](#)) de cada contrato no Último Dia de Negociação([UDN](#)).

O último dia de negociação é o derradeiro dia em que um dado Contrato é negociável

no Mercado, sendo utilizado o respetivo **PRN** para a determinação da Margem de Variação e do **VLE**.

Após o fecho de cada sessão de negociação, o **OMIP** define, para cada Contrato, o **PRN**, isto é, um preço fixo diariamente para cada contrato negociado no mercado. Para cada contrato, o preço de cada transação não pode exceder um valor máximo (negativo ou positivo) relativamente ao **PRN** do dia anterior, conforme definido pelo **OMIP**.

O **PRS** corresponde ao valor monetário do índice de cada tipo de contrato, o qual é equivalente à média aritmética dos preços horários formados no Mercado Diário gerido pelo **OMIE**, para o sistema do país da área de entrega. Se o contrato for do tipo *Peakload*, o **PRS** é equivalente a atribuir 1 euro a cada ponto inteiro da média aritmética dos 12 preços horários, entre as 8:00 h e as 20:00 h, formados no Mercado Diário gerido pelo **OMIE**, consoante o sistema do país de entrega, havendo por vezes preços diferentes para transações efetuadas em Portugal e Espanha.

Cada ponto inteiro do índice vale um Euro, e os índices são definidos com duas casas decimais, pelo que o **PRS** é definido até ao cêntimo de Euro. Todos os preços de referência são divulgados no *Website* da **OMIClear**.

Tendo subjacente o fornecimento/receção nocional de energia elétrica a uma potência constante para o número de horas de cada dia do período de Entrega, o **VLE** é calculado de acordo com a expressão 4.2.1, constante de Circular da **OMIClear**:

$$VLE_d = H \times \sum_i^n [QF_i \times (PRS - PRN_i)] \quad (4.2.1)$$

Onde:

- $VLE_d$  é o valor de Liquidação na Entrega relativo ao dia de entrega d;
- H é o número de horas subjacente ao dia de entrega d;
- **PRS** é o **PRS** para o dia de entrega d;
- $PRN_d$  é o **PRN** no **UDN** do Contrato i, com entrega no dia d;
- $QF_i$  é a posição aberta final do contrato i, com entrega no dia d, no final da sessão do **UDN**, assumindo um valor positivo caso se trate de uma Posição longa e um valor negativo caso se trate de uma Posição curta;
- i é o contrato com entrega no dia d;
- n é o número total de Contratos com entrega no dia d.

Importa reforçar que o valor de  $QF_i$  é positivo para o agente que assume a posição de comprador, e torna-se negativo para o agente que assume a posição de vendedor.

Relativamente aos contratos que se encontram em período de entrega, a **OMIClear** é unicamente responsável pelos movimentos correspondentes à liquidação do **VLE**. Quanto ao referencial de preços para liquidação dos contratos, sendo possível optar por produtos com áreas de entrega distinta (Portugal ou Espanha), o **PRS** tem em consideração o preço *Spot* de cada país.

Outra das especificações dos contratos de futuros é a possibilidade de decomposição dos contratos, ou seja, um contrato pode ser alvo de processo de fracionamento (*Cascading*). Por exemplo, um contrato de um ano pode ser dividido em quatro contratos trimestrais, e os contratos trimestrais podem ser divididos em contratos mensais. Este processo de fracionamento ocorre no último dia de negociação dos contratos que serão alvo de tal processo.

Relativamente ao processo de fracionamento de posições em contratos trimestrais, no último dia de negociação, após o fecho da sessão de negociação, as posições são substituídas por posições de idêntico volume nos três contratos dos meses subjacentes. Estas posições adquirem o preço de referência de negociação do respetivo contrato de Trimestre no último dia de negociação. Tal como sucede com os contratos anuais, em que no último dia de negociação as posições são trocadas por posições de idêntico volume nos contratos para os meses de Janeiro, Fevereiro, Março, segundo semestre, terceiro semestre e quarto semestre, estas posições adquirem o preço de referência de negociação do respetivo contrato anual no derradeiro dia de negociação. Este processo de *Cascading* está ilustrado de forma exemplificativa na figura 4.1.

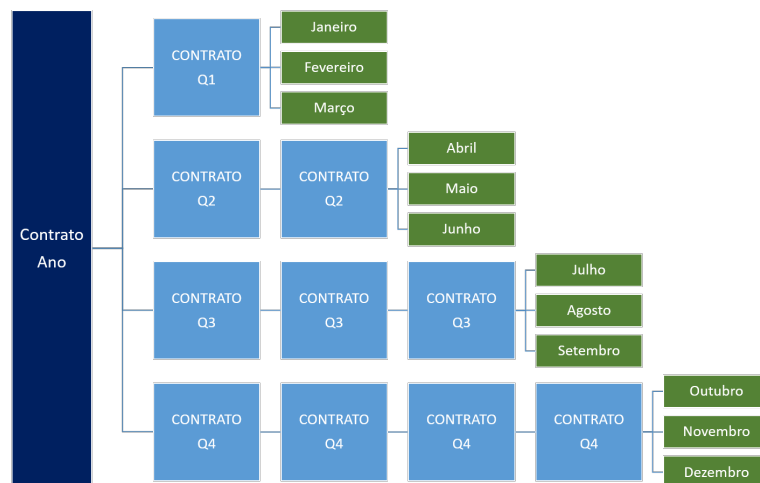


Figura 4.1: Exemplo da decomposição de contratos (*Cascading*) [49].

O mercado de futuros de eletricidade confere a diferentes tipos de entidades a possibilidade de estabilizarem os seus custos ao longo do ano, tendo assim uma forma de prever os seus custos. Desta forma evitam que uma ascensão de preços da eletricidade venha colocar em causa a viabilidade dos investimentos que foram realizados quando os preços da eletricidade eram mais baixos [50].

Apesar dos benefícios descritos, este instrumento financeiro acarreta algumas limitações, principalmente pelo facto das posições serem tomadas com base em expectativas, que quando não se confirmam, podem colocar em causa todos os rendimentos esperados. Outra limitação observada nestes contratos está associada com o facto da rede eléctrica ter limitação de capacidade de transporte entre Portugal e Espanha, o que leva a que o número de contratos seja limitado, e esta limitação pode originar preços elevados em certos períodos de tempo, dado que a procura de eletricidade pode ser superior à oferta existente.

Relativamente a este tipo de instrumentos financeiros, um aspeto a ter em conta é uma especificidade da eletricidade, ou seja, a dificuldade de armazenamento da eletricidade em termos economicamente viáveis, o que dificulta a forma dos especuladores intervenientes criarem meios para obterem oportunidades de arbitragem em termos temporais.



## O MÓDULO EMS-FC DO SIMULADOR MATREM E OS CASOS DE ESTUDO

O presente capítulo apresenta o Módulo *Electricity Market Simulator – Futures Contracts* do Simulador **MATREM**. O **EMS-FC** foi desenvolvido no âmbito da presente dissertação, com o intuito de possibilitar o estudo detalhado do funcionamento dos contratos padronizados, mais particularmente dos contratos de futuros de energia elétrica. Será apresentada a interface gráfica do simulador, bem como todas as suas funcionalidades. De seguida, serão abordados os casos de estudo que envolvem o modelo de contratação descrito anteriormente no capítulo 4, permitindo demonstrar o estudo deste tipo de contrato recorrendo ao módulo **EMS-FC**. Por fim, o capítulo apresenta os resultados obtidos e a discussão detalhada dos mesmos, de forma a evidenciar as vantagens e desvantagens que poderão trazer aos agentes intervenientes.

## 5.1 Módulo EMS-FC

O módulo de contratação bilateral EMS-FC é uma aplicação computacional munida com capacidades de simulação, desenvolvido com o intuito de ser uma plataforma útil para os agentes contratantes, tentando simular as condições adaptadas aos contratos padronizados. Esta plataforma terá como objetivo apoiar a decisão dos agentes participantes, permitindo identificar a melhor estratégia a adotar na negociação de contratos bilaterais, onde as partes envolvidas tentam alcançar um acordo padronizado que satisfaça as suas necessidades e interesses.

Importa realçar que o módulo EMS-FC foi desenvolvido com base num simulador já existente, o MATREM, procurando aumentar as suas capacidades, tendo sido acrescentada a possibilidade de simular contratos padronizados, onde os agentes participantes podem submeter propostas de compra ou venda de forma a firmarem um acordo consoante os seus interesses, visto o simulador MATREM não englobar esta dinâmica de negociação entre agentes. A linguagem de programação escolhida foi o JAVA e plataforma utilizada para o seu desenvolvimento foi o *NetBeans IDE*.

O módulo é apresentado e descrito neste capítulo na sua versão final. Durante o desenvolvimento do EMS-FC foi efetuada uma primeira versão do mesmo, que foi melhorada e aperfeiçoada com um enorme contributo técnico. No passado dia 8 de Fevereiro de 2018, em sede do OMIP, situada na Avenida Casal Ribeiro em Lisboa, em reunião com o Eng. Jorge Simão, e com a presença do Doutor Fernando Lopes, foram esclarecidas algumas dúvidas e questões técnicas relacionadas com o tema da presente dissertação, que resultaram num enriquecedor contributo para melhorar o módulo, levando ao desenvolvimento da versão final do mesmo, tornando-o o mais realista possível.

### 5.1.1 Interface Gráfica

A interface gráfica do módulo foi integralmente escrita na língua inglesa, de modo a permitir uma utilização quer em domínios académicos, quer em domínios empresariais. Todas as imagens apresentadas nesta secção são apenas exemplos de janelas existentes no módulo do módulo.

Toda a interface gráfica foi desenvolvida com o objetivo de ser o mais acessível e *User Friendly* para os utilizadores, de modo a facilitar a interação entre utilizador e módulo.

Para a adequada realização da simulação, estudo da dinâmica e obtenção de resultados, é necessário um procedimento executado de forma sequencial, para inserir os agentes participantes no mercado, o modelo de mercado a analisar, os dados associados às ofertas



submetidas pelos agentes e enviadas para o mercado, e a observação de toda a interação dos agentes no mercado.

A janela de interface representada na figura 5.1 corresponde aos dados associados a um agente produtor. No entanto existe também uma janela com as mesmas características destinadas aos dados associados ao perfil de um agente retalhista.

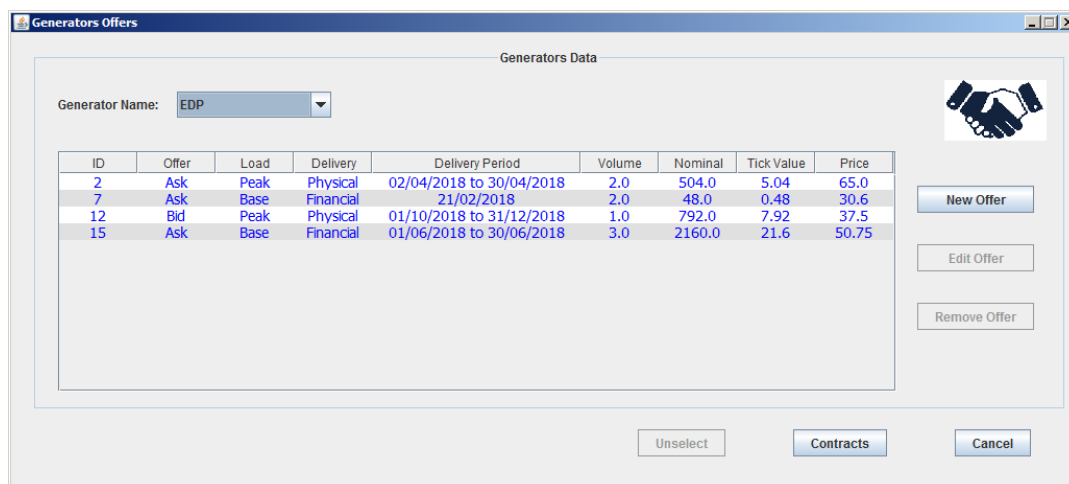


Figura 5.1: Janela de interface que exhibe as ofertas submetidas pelos agentes.

Na janela apresentada na figura 5.1, o utilizador consegue visualizar todos os dados referentes a propostas submetidas por um agente durante uma dada sessão de negociação, ou seja, durante o correspondente dia de negociação. No campo relativo à identificação do agente, o utilizador poderá escolher um dos agentes, de entre todos os agentes inseridos no simulador.

Após a seleção do agente, o utilizador poderá observar toda a informação relativa às propostas inseridas por esse mesmo agente. A informação disponibilizada referente a cada proposta é a seguinte:

- *ID*: identificação numérica da proposta, sendo gerada automaticamente por ordem crescente de inserção das mesmas;
- *Offer*: identifica o tipo de oferta, ou seja, se é uma oferta de compra ou venda;
- *Load*: qualifica o tipo de perfil de carga pretendido pelo agente, ou seja, se a proposta é para um contrato do tipo *Baseload* ou do tipo *Peakload*;
- *Delivery*: o tipo de entrega da proposta, entrega física ou entrega financeira;
- *Delivery Period*: o período de entrega da proposta;

- *Volume*: corresponde à potência constante em que é fornecida/recebida nominalmente a energia elétrica durante todo o período de entrega;
- *Nominal*: é relativo ao valor nominal, em Megawatt hora, da oferta;
- *Tick Value*: corresponde ao valor do *Tick* em Euros para a oferta;
- *Price*: descreve o preço que o agente pretende para a sua proposta.

Importa referir que, tal como se pode observar na Figura 5.1, as ofertas que são apresentadas na referida janela de interface são as que estão disponíveis para estabelecer um novo acordo entre agentes. As ofertas canceladas ou que já resultaram em um novo negócio já não são apresentadas nesta interface gráfica. Os agentes podem editar ou remover uma oferta submetida anteriormente por si. A edição de uma oferta apenas permite alterar o preço e o volume, não sendo possível alterar ou editar qualquer outro termo da proposta já submetida.

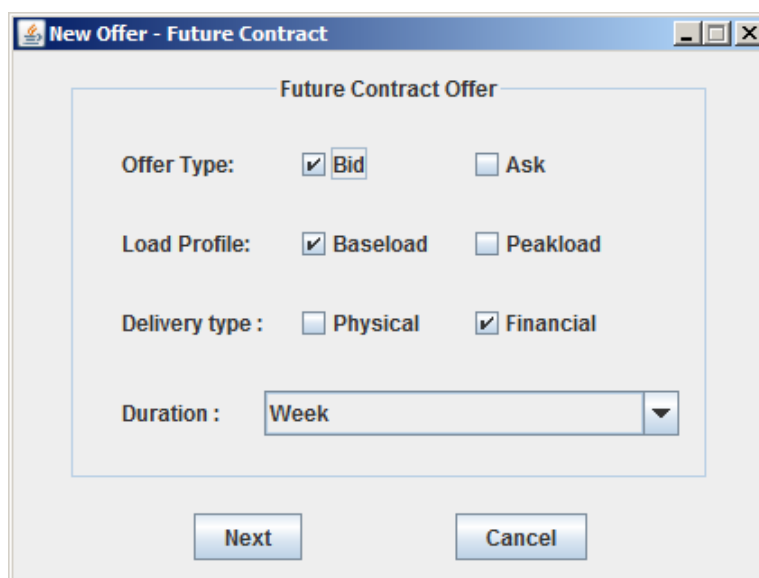
Nesta janela de interface, o utilizador tem a possibilidade de aceder a outras componentes, tais como aceder a outra janela onde é possível visualizar os contratos que cada agente celebrou ou submeter uma nova oferta de compra ou venda. Estas opções anteriormente descritas são acedidas através dos botões presentes na parte inferior da interface representada na Figura 5.1. Estes botões só se encontram disponíveis quando um agente está selecionado.

As figuras 5.2 e 5.3 ilustram a forma como os agentes podem submeter uma nova proposta, ou seja, definir todas as características que pretendem para celebrar um novo contrato, de acordo com as suas necessidades e os seus interesses.

Na janela representada na figura 5.2, o agente que pretende submeter uma nova proposta terá de indicar que é uma oferta de venda ou de compra, podendo também selecionar o tipo de perfil de carga que vai de encontro aos seus interesses, entre *Baseload* ou *Peakload*, bem como optar pelo tipo de entrega, selecionando a entrega física ou a entrega financeira, e por fim escolher o tipo de duração que pretende, consoante o perfil de carga e o tipo de entrega selecionados, tal como é exposto na secção 4.2.

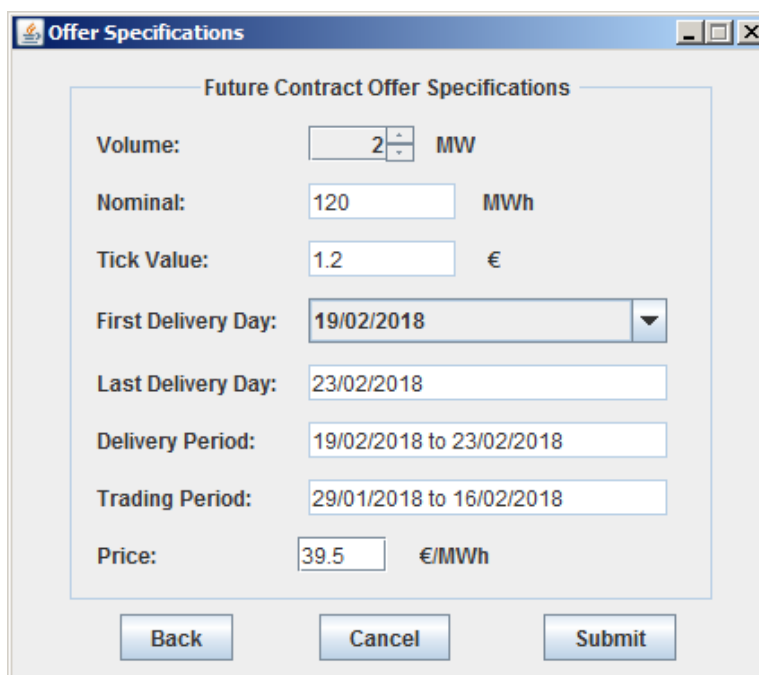
Na janela da figura 5.3, o agente deve preencher os restantes campos, de acordo com os seus interesses. É obrigatório preencher todos os campos das janelas das figuras 5.2 e 5.3 para ser possível submeter uma nova oferta.

O agente deve indicar qual o volume pretendido, que representa o número de MW que deseja, valor que deverá ser inteiro, de modo a ajustar as necessidades dos agentes. Deverá igualmente selecionar o primeiro dia de entrega pretendido, de acordo com os primeiros



The dialog box titled "New Offer - Future Contract" contains a section titled "Future Contract Offer". It includes four rows of options: "Offer Type" with "Bid" selected and "Ask" unselected; "Load Profile" with "Baseload" selected and "Peakload" unselected; "Delivery type" with "Physical" unselected and "Financial" selected; and "Duration" set to "Week" in a dropdown menu. At the bottom are "Next" and "Cancel" buttons.

Figura 5.2: Janela inicial destinada à seleção de especificações de uma nova oferta.



The dialog box titled "Offer Specifications" contains a section titled "Future Contract Offer Specifications". It includes several input fields: "Volume" (2 MW), "Nominal" (120 MWh), "Tick Value" (1.2 €), "First Delivery Day" (19/02/2018), "Last Delivery Day" (23/02/2018), "Delivery Period" (19/02/2018 to 23/02/2018), "Trading Period" (29/01/2018 to 16/02/2018), and "Price" (39.5 €/MWh). At the bottom are "Back", "Cancel", and "Submit" buttons.

Figura 5.3: Janela para seleção de especificações e de inserção de uma nova oferta.

dias de entrega disponíveis, consoante o tipo de duração anteriormente selecionado.

Após o preenchimento dos dois campos anteriormente mencionados, os restantes campos, tais como o valor de Nominal, o *tick value*, o Último Dia de Entrega, o Período de Entrega e o Período de Negociação, serão preenchidos automaticamente. Este preenchimento automático tem em conta a informação já fornecida, tendo em conta a janela da figura 5.2 e as especificações dos contratos de futuros determinadas pelo OMIP.

Por fim, o agente deve também indicar o preço pretendido, sendo este o único campo negociável de uma proposta, tal como sucede com os contratos de futuros. O preço inserido tem de ser um valor maior que zero, poderá conter duas casas decimais, tendo como unidade €/MWh. Com todos os campos preenchidos e validados é possível ao utilizador submeter a oferta.

Quando é submetida uma nova oferta por parte de um agente, esta oferta é comparada a todas as propostas já inseridas anteriormente e que estão ativas, de modo a apurar se existe alguma proposta com as mesmas especificações, para que seja estabelecido um contrato entre as duas partes que submeteram as ofertas coincidentes. Para ser atingido este acordo, obrigatoriamente uma oferta terá de ser de compra e a outra oferta terá de ser de venda. Ambas as ofertas terão de ser submetidas por agentes diferentes e todas as restantes especificações terão de coincidir.

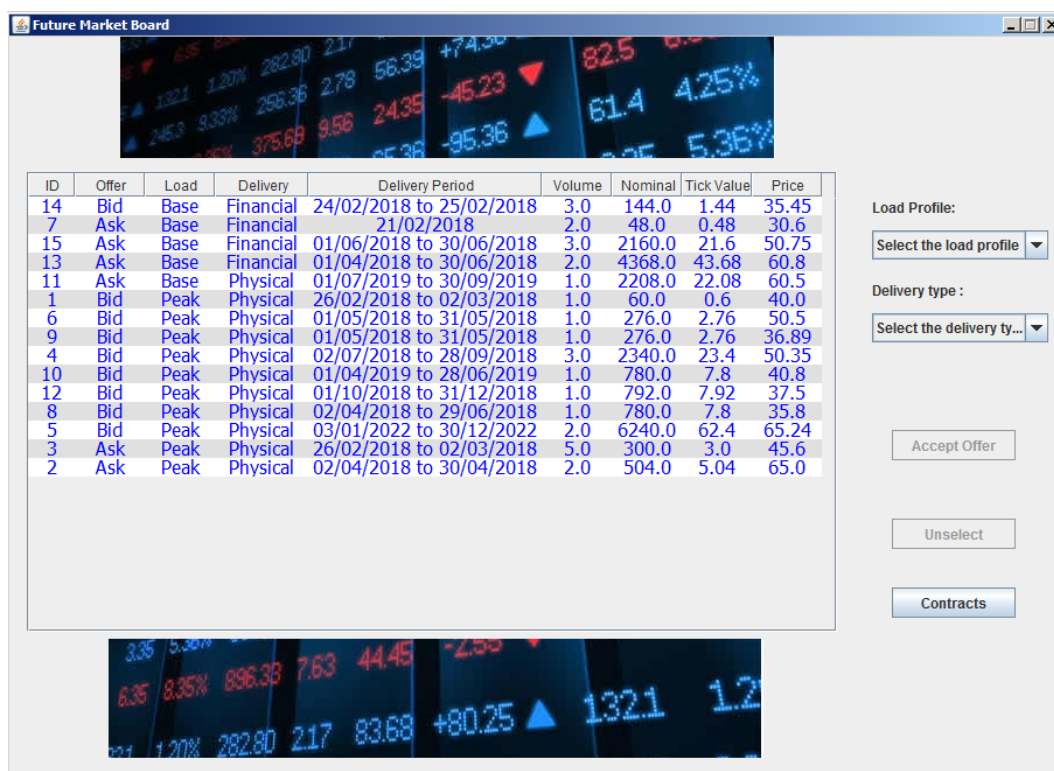
Importa referir que todas as ofertas inseridas são mantidas até ao final da sessão de negociação onde as mesmas foram submetidas. No final da sessão de negociação, ou seja, no final de cada dia, todas as ofertas deixam de estar disponíveis. Esta dinâmica presente no módulo espelha a dinâmica existente no mercado regulado pelo OMIP.

Todos os agentes participantes no mercado podem consultar as ofertas submetidas numa dada sessão de negociação, ofertas essas que têm como finalidade a celebração de contratos padronizados, neste caso, contratos de futuros. Todas as ofertas submetidas são colocadas no Quadro do Mercado de Futuros. Neste quadro estão todas as ofertas submetidas na sessão por forma a que os agentes possam consultar as ofertas submetidas por outros agentes, de modo a procurarem ofertas que os levem a celebrar um acordo que vá de encontro às suas necessidades.

As ofertas são apresentadas no quadro de forma confidencial, ou seja, sem identificar o agente que submeteu cada uma das ofertas, de modo a tentar conferir a maior transparência possível ao processo de negociação. Deste modo, permite-se que dois agentes possam atingir um acordo sem ter conhecimento da identificação da outra parte envolvida no contrato, procurando exclusivamente que cada agente tente cobrir os seus próprios interesses. Apesar desta confidencialidade presente no Quadro de Mercado de Futuros,

os agentes podem consultar as ofertas feitas por si, tal como descrito anteriormente, na janela de interface gráfica representada na figura 5.1.

No quadro, são exibidas as seguintes informações de cada oferta: o ID da oferta, número meramente identificativo; o tipo de oferta, de compra ou de venda, o tipo de perfil de carga da oferta, o tipo de entrega da oferta, o período de entrega, o volume, o nominal, o valor do *Tick* e o preço proposto pelo agente na oferta. O Quadro de Mercado de Futuros pode ser observado na figura 5.4.



The screenshot shows a software window titled "Future Market Board". It features a table of offers with columns: ID, Offer, Load, Delivery, Delivery Period, Volume, Nominal, Tick Value, and Price. The table contains 14 rows of data. To the right of the table are three buttons: "Accept Offer", "Unselect", and "Contracts". Above the "Accept Offer" button are two dropdown menus labeled "Load Profile:" and "Delivery type:". The background of the window has a dark blue area with red and green numbers, resembling a financial market display.

ID	Offer	Load	Delivery	Delivery Period	Volume	Nominal	Tick Value	Price
14	Bid	Base	Financial	24/02/2018 to 25/02/2018	3.0	144.0	1.44	35.45
7	Ask	Base	Financial	21/02/2018	2.0	48.0	0.48	30.6
15	Ask	Base	Financial	01/06/2018 to 30/06/2018	3.0	2160.0	21.6	50.75
13	Ask	Base	Financial	01/04/2018 to 30/06/2018	2.0	4368.0	43.68	60.8
11	Ask	Base	Physical	01/07/2019 to 30/09/2019	1.0	2208.0	22.08	60.5
1	Bid	Peak	Physical	26/02/2018 to 02/03/2018	1.0	60.0	0.6	40.0
6	Bid	Peak	Physical	01/05/2018 to 31/05/2018	1.0	276.0	2.76	50.5
9	Bid	Peak	Physical	01/05/2018 to 31/05/2018	1.0	276.0	2.76	36.89
4	Bid	Peak	Physical	02/07/2018 to 28/09/2018	3.0	2340.0	23.4	50.35
10	Bid	Peak	Physical	01/04/2019 to 28/06/2019	1.0	780.0	7.8	40.8
12	Bid	Peak	Physical	01/10/2018 to 31/12/2018	1.0	792.0	7.92	37.5
8	Bid	Peak	Physical	02/04/2018 to 29/06/2018	1.0	780.0	7.8	35.8
5	Bid	Peak	Physical	03/01/2022 to 30/12/2022	2.0	6240.0	62.4	65.24
3	Ask	Peak	Physical	26/02/2018 to 02/03/2018	5.0	300.0	3.0	45.6
2	Ask	Peak	Physical	02/04/2018 to 30/04/2018	2.0	504.0	5.04	65.0

Figura 5.4: Quadro do Mercado de Futuros, onde são exibidas todas as ofertas submetidas por todos os agentes.

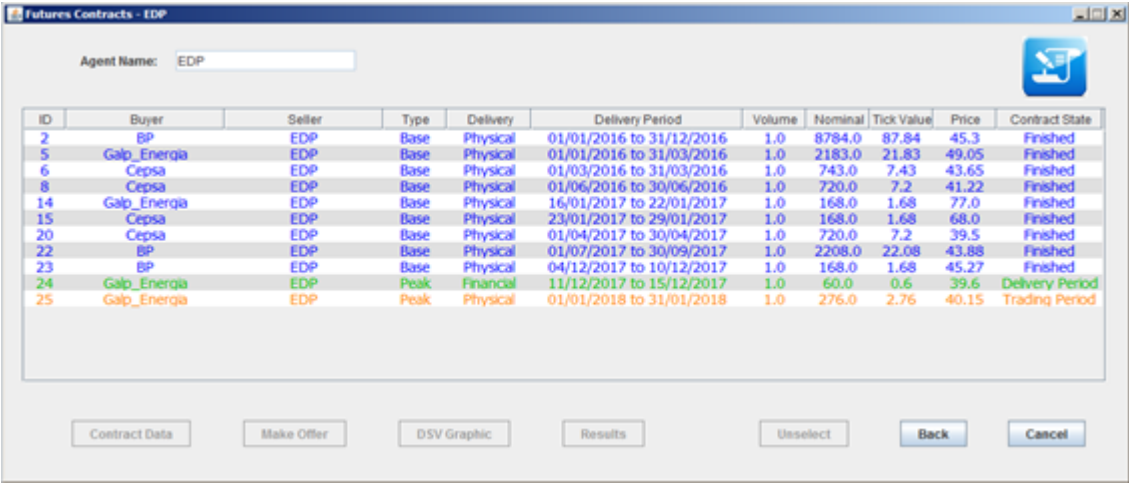
Tal como sucede na janela 5.1, no Quadro do Mercado de Futuros apenas surgem as propostas que estão ativas e disponíveis para a celebração de novo acordo. De modo a facilitar a análise deste quadro, o utilizador pode filtrar as ofertas submetidas, optando por filtrar as ofertas pelo perfil de carga e/ou pela tipo de liquidação das ofertas.

A consulta do Quadro do Mercado de Futuros confere aos agentes um poder de decisão no processo de negociação de novos contratos de Futuro. Os agentes podem analisar as propostas submetidas por todos, estudando assim as estratégias e intenções de outros agentes, de forma a concluir se vão de encontro aos seus interesses pessoais, e podendo assim ajustar as suas ofertas com o objetivo de celebrar novos acordos que satisfaçam

esses mesmos interesses.

Através do Quadro de Mercado de Futuros, os agentes podem celebrar um novo acordo, selecionando uma oferta presente no quadro e aceitando-a, celebrando assim um novo contrato. Importa referir que, à semelhança do que sucedo no OMIP, só é possível negociar uma oferta se esta for a mais vantajosa das existentes para as especificações pretendidas. Esta medida tenta implementar uma maior transparência ao mercado, obrigando que sejam celebrados acordos com as ofertas mais vantajosas relativamente ao preço, e não permitindo que sejam celebrados contratos com recurso a ofertas desvantajosas em termos de preço relativamente a outras ofertas presentes no mercado.

Além de poderem consultar todas as ofertas por si submetidas, todas as ofertas submetidas por todos os agentes participantes no mercado, e as informações relativas a essas mesmas ofertas, os agentes podem também consultar todos os contratos por si celebrados com outros agentes e os detalhes desses contratos, tal como se pode observar na figura 5.5.



ID	Buyer	Seller	Type	Delivery	Delivery Period	Volume	Nominal	Tick Value	Price	Contract State
2	BP	EDP	Base	Physical	01/01/2016 to 31/12/2016	1.0	8784.0	87.84	45.3	Finished
5	Galp_Energia	EDP	Base	Physical	01/01/2016 to 31/03/2016	1.0	2183.0	21.83	49.05	Finished
6	Cepsa	EDP	Base	Physical	01/03/2016 to 31/03/2016	1.0	743.0	7.43	43.65	Finished
8	Cepsa	EDP	Base	Physical	01/06/2016 to 30/06/2016	1.0	720.0	7.2	41.22	Finished
14	Galp_Energia	EDP	Base	Physical	16/01/2017 to 22/01/2017	1.0	168.0	1.68	77.0	Finished
15	Cepsa	EDP	Base	Physical	23/01/2017 to 29/01/2017	1.0	168.0	1.68	68.0	Finished
20	Cepsa	EDP	Base	Physical	01/04/2017 to 30/04/2017	1.0	720.0	7.2	39.5	Finished
22	BP	EDP	Base	Physical	01/07/2017 to 30/09/2017	1.0	2208.0	22.08	43.88	Finished
23	BP	EDP	Base	Physical	04/12/2017 to 10/12/2017	1.0	168.0	1.68	45.27	Finished
24	Galp_Energia	EDP	Peak	Financial	11/12/2017 to 15/12/2017	1.0	60.0	0.6	39.6	Delivery Period
25	Galp_Energia	EDP	Peak	Physical	01/01/2018 to 31/01/2018	1.0	276.0	2.76	40.15	Trading Period

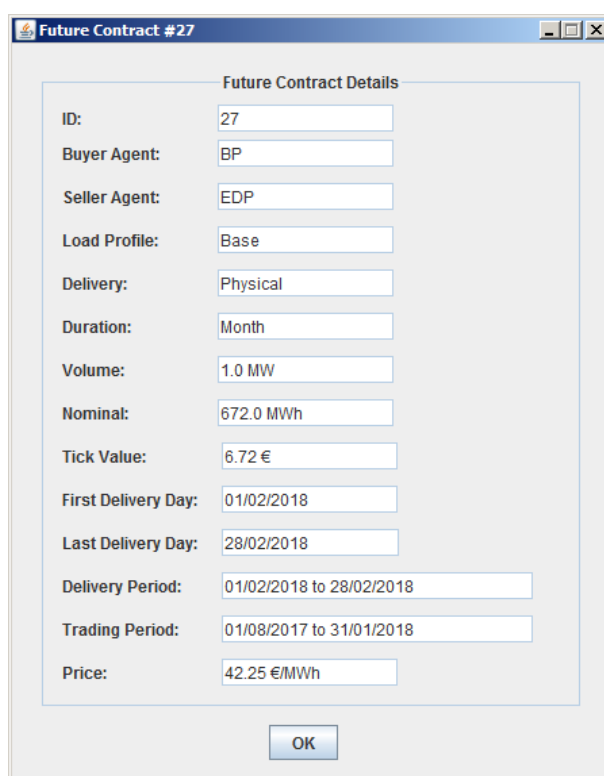
Figura 5.5: Janela de interface que exhibe os contratos dos agentes.

Na janela representada na figura 5.5, para facilitar a consulta aos agentes, os contratos podem ser visualizados com três cores diferentes, consoante o estado em que estão. As cores são o laranja, o verde e o azul. Este estado está relacionado com o período em que se encontra o contrato. Se o contrato se encontrar no período de negociação, este será representado pela cor laranja. Se o período de entrega estiver a decorrer, o contrato aparece a verde. Após o período de entrega, o contrato termina e aparece a azul.

Estes contratos são possuidores de várias especificações, de forma semelhante às ofertas, visto serem as ofertas submetidas a originarem os contratos. Na figura 5.5 é possível observar algumas das características que os contratos detém, tais como o ID, os agentes

compradores e vendedores, o tipo de perfil de carga, o tipo de entrega, o período de entrega, o volume, o nominal, o valor do *tick* e o preço acordado entre ambas as partes.

Além de ser possível ao agente consultar os contratos por si celebrados, quer como comprador quer seja como vendedor, e algumas das suas especificações na interface gráfica representada na figura 5.5, o agente pode também consultar toda a informação de forma mais detalhada relativa a cada contrato, onde toma parte ativa do mesmo. Esta consulta detalhada de toda a informação de um contrato está representada na janela presente na figura 5.6.



The screenshot shows a window titled "Future Contract #27" with a sub-header "Future Contract Details". It contains a list of contract attributes and their values, each in a text box. At the bottom is an "OK" button.

Future Contract Details	
ID:	27
Buyer Agent:	BP
Seller Agent:	EDP
Load Profile:	Base
Delivery:	Physical
Duration:	Month
Volume:	1.0 MW
Nominal:	672.0 MWh
Tick Value:	6.72 €
First Delivery Day:	01/02/2018
Last Delivery Day:	28/02/2018
Delivery Period:	01/02/2018 to 28/02/2018
Trading Period:	01/08/2017 to 31/01/2018
Price:	42.25 €/MWh

Figura 5.6: Janela de interface onde o utilizador pode visualizar todos os detalhes de um contrato.

Consoante o estado em que se encontra o contrato, é possível ao agente efetuar operações ou consultar outras informações relativas ao esse mesmo contrato. Dado que os contratos de futuros são negociáveis até atingirem o período de entrega, o simulador permite que os agentes possam tentar negociar um contrato que ainda esteja no período de negociação, de forma a transacionarem a sua posição no contrato para outro agente.

Esta operação de troca de posições celebradas é efetuada através de uma nova oferta submetida automaticamente, de natureza contrária à posição que o agente tem no contrato, ou seja, um agente comprador submete uma oferta de venda e um agente vendedor submete uma oferta de compra, com as especificações iguais, podendo ser com um preço diferente, selecionado pelo agente. No caso de esta oferta por si submetida resultar em

um novo acordo, o agente trocou a sua posição no contrato com sucesso.

No caso de o contrato se encontrar na sua fase de entrega, ou essa mesma fase já tiver terminado, o agente pode consultar graficamente o PRN e os valores do PRS para cada dia do período de entrega, se esse período tiver terminado, ou até ao próprio dia, caso esse período ainda esteja a decorrer. Destes valores irá resultar o VLE durante a Entrega, permitindo que através deste gráfico os agentes consultem os valores de referência relativos aos seus contratos. Os agentes podem observar os valores de referência na janela presente na figura 5.7.

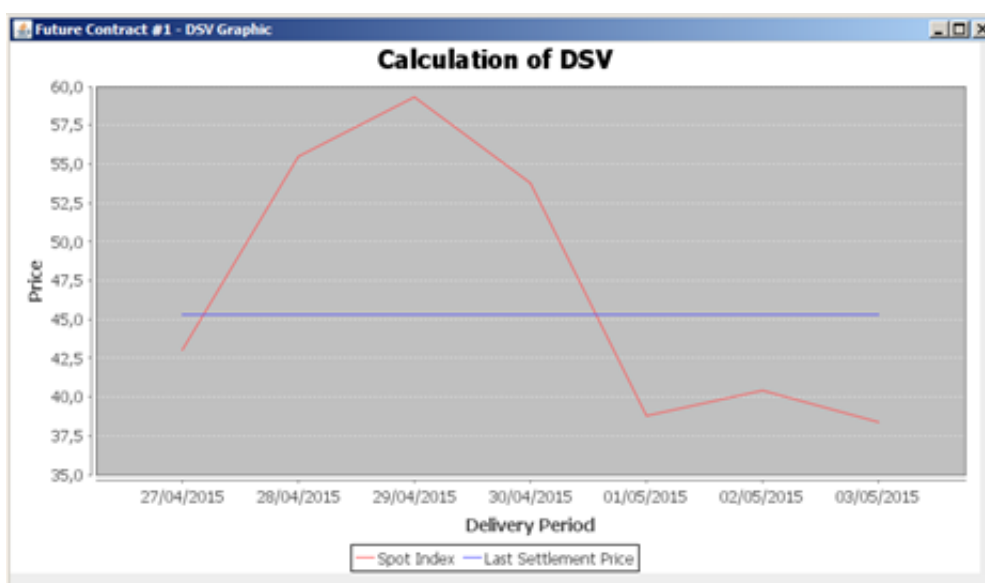


Figura 5.7: Janela de interface onde são representados graficamente os valores de referência de um contrato.

Nos contratos em que o período de entrega tenha terminado, os agentes podem consultar os valores finais de pagamento entre ambas as partes, tendo acesso aos valores relativos à sua posição no contrato. Destes valores de pagamento fazem parte o montante bruto, o valor de liquidação de entrega e o montante líquido.

O montante bruto é relativo à compensação da entrega do ativo subjacente ao contrato, neste caso, da entrega da eletricidade, calculado através do preço acordado entre ambas as partes e o nominal relativo ao contrato. O Valor de Liquidação na Entrega é calculado como descrito no capítulo 4.2 da presente dissertação. O agente pode consultar o valor de liquidação de todos os dias que constituem o período de entrega, tal como o valor total de liquidação.

O montante líquido será o somatório dos dois valores e representa o valor de compensação entre os dois agentes. Todos estes valores são apresentados a verde no caso de



o agente ter de ser compensado, ou a vermelho se o agente tiver de compensar o outro agente. A janela da interface gráfica onde são apresentados os valores supramencionados está representada na figura 5.8.

The screenshot shows a window titled 'Future Contract Results' with the following data:

Delivery Settlement Value		
27/04/2015	54.48 €	28/04/2015 245.52 €
		29/04/2015 335.52 €
30/04/2015	203.52 €	01/05/2015 155.52 €
		02/05/2015 117.6 €
03/05/2015	165.12 €	

Total Values		
Gross Amount:	7560 €	DS Value: 291.84 €
		Net Amount: 7268.16 €

Buttons at the bottom: DSV Graphic, OK

Figura 5.8: Janela de interface onde são apresentados valores de compensação entre agentes de um contrato.

Quando os contratos possuem períodos de entrega superiores a um mês, ou seja, quando o seu período de entrega é um trimestre ou um ano, os agentes podem consultar os valores de compensação através de uma janela em tudo semelhante à anterior, mas apresentando os valores de liquidação para os meses que constituem esse período de entrega, tal como se pode observar na figura 5.9. Apesar dos valores serem apresentados mensalmente, os agentes podem também consultar os valores de liquidação para todos os dias do período de entrega do contrato.

## 5.2 Casos de Estudo

### 5.2.1 Considerações Gerais

Os casos de estudo foram elaborados com a finalidade de analisar o comportamento e a dinâmica de negociação, e também estabelecer uma comparação entre o modelo de contrato de futuros na sua forma padronizada e o modelo de mercado diário existente no MIBEL.

Os cenários remetem para a celebração de vinte e dois contratos de futuros e da contratação através do mercado diário para igual período de vigência contratual. Os vários

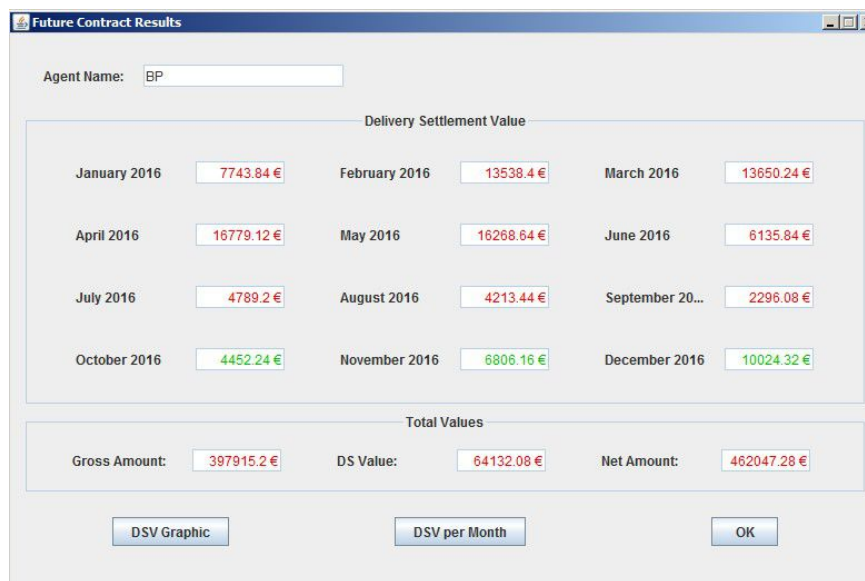


Figura 5.9: Janela de interface onde são apresentados valores de compensação entre agentes de um contrato.

contratos de futuro possuem diferentes tipos de maturidade, ou seja, diferentes tipos de duração do período de entrega, tais como semanas, meses, trimestres e anos.

Esta diversificação de tipo de duração do contrato permite estabelecer uma comparação económica mais abrangente entre os valores dos contratos de futuros que serão estabelecidos através do uso do módulo EMS-FC, utilizando dados do OMIP relativamente a estes contratos e os preços reais recolhidos do mercado *Spot* do MIBEL; para iguais períodos dos contratos anteriormente referidos, de forma a averiguar qual das duas formas de negociação é mais vantajosa economicamente para um produtor que pretende vender a eletricidade por si produzida.

Todos os contratos de futuros estabelecidos em virtude deste caso de estudo possuem uma liquidação física da energia, assumindo desta forma que os volumes de energia elétrica negociados serão entregues pelo agente produtor que celebrou os acordos contratuais. Todos os contratos são do tipo *Baseload*, ou seja, a entrega física da energia acontece durante todas as horas e para todos os dias durante o período de entrega estabelecido no acordo.

Tendo em consideração as especificações descritas no capítulo 4.2 relativamente aos contratos de futuros, a liquidação física da energia elétrica é feita a uma potência constante de 1MW, apesar de ser possível negociar mais contratos entre os agentes envolvidos para a entrega física da energia ser feita a uma potência constante superior.

### 5.2.2 Dados dos Contratos de Futuros

Tendo em conta todos os dados gerais descritos anteriormente relativamente aos contratos de futuros, os restantes dados constam das tabelas 5.1 a 5.4. Os contratos foram distribuídos pelas tabelas consoante o tipo de maturidade do período de entrega.

Considerando o conceito do modelo de negociação bilateral, os Contratos de Futuros na sua forma padronizada, tal como descrito no capítulo 4, a definição e negociação do preço é fundamental para a celebração do contrato, sendo este o único elemento remanescente do mesmo.

Importa referir que todos os dados dos contratos de futuros utilizados para os casos de estudo encontram-se disponíveis na plataforma online do OMIP, tendo sido selecionados de forma aleatória, sem qualquer critério de seleção. Com o recurso aos dados recolhidos na referida plataforma online foi possível simular os contratos no módulo EMS-FC, tal como descrito no capítulo 5.3.

Tabela 5.1: Dados dos Contratos com Períodos de Entrega Semanais.

Primeiro Dia De Entrega	Último Dia de Entrega	Nominal (MWh)	Valor do Tick (€)	Preço (€/MWh)
27/04/2015	03/05/2015	168	1,68	45,00
05/09/2016	11/09/2016	168	1,68	44,25
19/09/2016	25/09/2016	168	1,68	42,08
09/01/2017	15/01/2017	168	1,68	60,00
16/01/2017	22/01/2017	168	1,68	77,00
23/01/2017	29/01/2017	168	1,68	68,00
30/01/2017	05/02/2017	168	1,68	61,00

Os valores que constam na tabela 5.1 são referentes a sete contratos de futuros em que o período de entrega de cada contrato corresponde a períodos semanais.

A tabela 5.2 possui os dados relativos a sete contratos com períodos de vigência mensais. Todos estes contratos são para meses diferentes, de modo a existir uma maior diversidade de valores.

Na tabela 5.3 constam os dados de seis contratos de futuros trimestrais e na tabela 5.4 encontram-se valores de dois contratos para o mesmo período anual, o ano de 2016, mas com o preço acordado entre agentes a ser diferente nos dois contratos.

Tabela 5.2: Dados dos Contratos com Períodos de Entrega Mensais.

Primeiro Dia De Entrega	Último Dia de Entrega	Nominal (MWh)	Valor do <i>Tick</i> (€)	Preço (€/MWh)
01/01/2016	31/01/2016	744	7,44	48,00
01/03/2016	31/03/2016	743	7,43	43,65
01/06/2016	30/06/2016	720	7,20	41,22
01/07/2016	31/07/2016	744	7,44	44,60
01/02/2017	28/02/2017	672	6,72	53,85
01/03/2017	31/03/2017	743	7,43	49,88
01/04/2017	30/04/2017	720	7,20	39,50

Tabela 5.3: Dados dos Contratos com Períodos de Entrega Trimestrais.

Primeiro Dia De Entrega	Último Dia de Entrega	Nominal (MWh)	Valor do <i>Tick</i> (€)	Preço (€/MWh)
01/01/2016	31/03/2016	2183	21,83	49,05
01/04/2016	30/06/2016	2184	21,84	41,70
01/07/2016	30/09/2016	2208	22,08	45,25
01/01/2017	31/03/2017	2159	21,59	40,30
01/04/2017	30/06/2017	2184	21,84	37,30
01/07/2017	30/09/2017	2208	22,08	43,88

Tabela 5.4: Dados dos Contratos com Períodos de Entrega Anuais.

Primeiro Dia De Entrega	Último Dia de Entrega	Nominal (MWh)	Valor do <i>Tick</i> (€)	Preço (€/MWh)
01/01/2016	31/12/2016	8784	87,84	45,30
01/01/2016	31/12/2016	8784	87,84	45,65

### 5.3 Simulações e Resultados Experimentais

De seguida, são expostos os resultados das simulações feitas para os vinte e dois contratos de futuros anteriormente mencionados, isto é, para os casos práticos onde foram celebrados acordos entre o agente produtor e um retalhista.

Utilizando os dados presentes na secção 5.2.2, foram efetuadas as simulações de contratação de energia elétrica através de contratos de futuros e com o recurso ao módulo EMS-FC. São apresentados de seguida os resultados dos vinte e dois casos que foram alvo de estudo, tendo presente que foram utilizados dados reais, publicados pelo OMIP.

Importa referir que os resultados apresentados são referentes ao produtor envolvido nestes contratos. Além de ser apresentado o ganho total que o produtor obtém em cada contrato, é também apresentado o VLE total, ou seja, o somatório do VLE liquidado todos

Tabela 5.5: Ganhos dos Contratos de Futuros Semanais.

Primeiro Dia De Entrega	Último Dia de Entrega	Preço (€/MWh)	VLE (€)	Ganhos (€)
27/04/2015	03/05/2015	45,00	-291,84	7 268,16
05/09/2016	11/09/2016	44,25	-320,88	7 113,12
19/09/2016	25/09/2016	42,08	-88,80	6 980,64
09/01/2017	15/01/2017	60,00	-1 302,48	8 777,52
16/01/2017	22/01/2017	77,00	-460,56	1 2475,44
23/01/2017	29/01/2017	68,00	-781,92	1 0642,08
30/01/2017	05/02/2017	61,00	90,48	1 0338,48

Tabela 5.6: Ganhos dos Contratos de Futuros Mensais.

Primeiro Dia De Entrega	Último Dia de Entrega	Preço (€/MWh)	VLE (€)	Ganhos (€)
01/01/2016	31/01/2016	48,00	7 483,44	43 195,44
01/03/2016	31/03/2016	43,65	-173,76	32 258,19
01/06/2016	30/06/2016	41,22	2 060,64	31 739,04
01/07/2016	31/07/2016	44,60	2 148,00	35 330,40
01/02/2017	28/02/2017	53,85	3 879,84	40 067,04
01/03/2017	31/03/2017	49,88	-278,64	36 782,20
01/04/2017	30/04/2017	39,50	-1 734,48	26 705,52

os dias do período de entrega presente em cada contrato.

Tabela 5.7: Ganhos dos Contratos de Futuros Trimestrais.

Primeiro Dia De Entrega	Último Dia de Entrega	Preço (€/MWh)	VLE (€)	Ganhos (€)
01/01/2016	31/03/2016	49,05	36 444,48	143 520,63
01/04/2016	30/06/2016	41,70	17 889,60	108 962,40
01/07/2016	30/09/2016	45,25	5 491,68	105 403,68
01/01/2017	31/03/2017	40,30	-8 494,08	78 513,62
01/04/2017	30/06/2017	37,30	-4 550,64	76 912,56
01/07/2017	30/09/2017	43,88	5 095,68	101 982,72

Os ganhos apresentados para cada contrato já englobam o **VLE**. Tal como é possível observar nas tabelas 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8, o **VLE** pode ser favorável ou desfavorável ao produtor. Este valor, que depende do **PRN** de cada contrato e do **PRS** registado todos os dias, traduz a flutuação presente no mercado *Spot*.

Tabela 5.8: Ganhos dos Contratos de Futuros Anuais.

Primeiro Dia De Entrega	Último Dia de Entrega	Preço (€/MWh)	VLE (€)	Ganhos (€)
01/01/2016	31/12/2016	45,30	64 132,08	462 047,28
01/01/2016	31/12/2016	45,65	64 132,08	465 121,68

## 5.4 Análise de Resultados

Os resultados obtidos através das simulações permitem apurar um conjunto de conclusões relativamente à dinâmica de negociação inerente ao modelo de contratos de futuros. Os valores apresentados nas tabelas seguintes permitem compreender e analisar as vantagens económicas para os agentes intervenientes entre este formato presente no OMIP e a contratação no Mercado diário do MIBEL.

De modo a ser possível realizar uma comparação entre modelos, para todos os períodos de vigência dos contratos referidos nas tabelas 5.1 , 5.2, 5.3 e 5.4, foram extraídos os preços praticados no Mercado Diário do MIBEL para todas as horas destes períodos. Procedeu-se de seguida à soma de todos estes valores, de modo a aferir os ganhos do produtor, caso vendesse a sua energia diariamente no mercado *Spot* durante cada um dos períodos.

Além dos ganhos totais da venda de energia, procedeu-se ao cálculo da média dos preços praticados neste mercado durante cada um dos períodos. Todos os dados extraídos para estes cálculos encontram-se disponíveis para consulta pública na plataforma online do OMIE. Estes ganhos anteriormente referidos, bem como as médias dos preços praticados no mercado diário constam nas tabelas I.1, I.2, I.3 e I.4 apresentadas em anexo do presente documento.

Tabela 5.9: Comparação da média dos preços praticados no mercado Spot vs preços acordados para os contratos de futuros para períodos semanais.

Período	Média de Preços Spot(€/MWh)	Preço Contrato Futuros(€/MWh)	Variação (%)
27/04/2015 a 03/05/2015	47,03	45,00	-4,31
05/09/2016 a 11/09/2016	45,36	44,25	-2,45
19/09/2016 a 25/09/2016	43,48	42,08	-3,21
09/01/2017 a 15/01/2017	68,33	60,00	-12,20
16/01/2017 a 22/01/2017	77,82	77,00	-1,05
23/01/2017 a 29/01/2017	78,61	68,00	-13,50
30/01/2017 a 05/02/2017	54,79	61,00	11,33

Tabela 5.10: Comparação da média dos preços praticados no mercado Spot vs preços acordados para os contratos de futuros para períodos mensais.

Período	Média de Preços Spot(€/MWh)	Preço Contrato Futuros(€/MWh)	Variação (%)
01/01/2016 a 31/01/2016	36,39	48,00	31,90
01/03/2016 a 31/03/2016	27,66	43,65	57,82
01/06/2016 a 30/06/2016	38,28	41,22	7,69
01/07/2016 a 31/07/2016	40,36	44,60	10,50
01/02/2017 a 28/02/2017	51,39	53,85	4,79
01/03/2017 a 31/03/2017	43,95	49,88	13,49
01/04/2017 a 30/04/2017	44,18	39,50	-10,59

Importa referir que, para ser feita a comparação económica entre ambos os modelos de contratação, os valores dos ganhos presentes nas tabelas foram calculados tendo em conta os preços praticados para todos as horas de todos os dias dos períodos indicados, tal como sucede nos contratos de futuros que são do tipo *Baseload*, sendo 1 MW o volume vendido pelo produtor a cada hora considerada.

As tabelas 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12 permitem efetuar uma comparação económica entre o preço acordado entre agentes para a celebração do contrato de futuros e a média de preços do mercado *Spot* para iguais períodos temporais.

Tabela 5.11: Comparação da média dos preços praticados no mercado Spot vs preços acordados para os contratos de futuros para períodos trimestrais.

Período	Média de Preços Spot(€/MWh)	Preço Contrato Futuros(€/MWh)	Variação (%)
01/01/2016 a 31/03/2016	30,54	49,05	60,63
01/04/2016 a 30/06/2016	28,86	41,70	44,50
01/07/2016 a 30/09/2016	41,68	45,25	8,56
01/01/2017 a 31/03/2017	55,77	40,30	-27,74
01/04/2017 a 30/06/2017	47,17	37,30	-20,93
01/07/2017 a 30/09/2017	48,39	43,88	-9,32

Tal como sucedeu anteriormente, as tabelas estão divididas pelo tipo de maturidade do contrato. Como se pode observar a partir da tabela 5.9, à exceção de um contrato, todos os preços dos contratos assumem valores ligeiramente inferiores à média dos preços praticados no mercado diário.

A partir da observação dos dados que constam na tabela 5.10, é possível afirmar que quase todos os valores acordados para a celebração dos vários contratos acordados entre os agentes contratantes são superiores à média dos preços de *Spot*.

## CAPÍTULO 5. O MÓDULO EMS-FC DO SIMULADOR MATREM E OS CASOS DE ESTUDO

Tabela 5.12: Comparação da média dos preços praticados no mercado *Spot* vs preços acordados para os contratos de futuros para períodos anuais.

Período	Média de Preços <i>Spot</i> (€/MWh)	Preço Contrato Futuros(€/MWh)	Variação (%)
01/01/2016 a 31/12/2016	39,44	45,30	14,86
01/01/2016 a 31/12/2016	39,44	45,65	15,75

Na tabela 5.11, metade dos valores dos preços dos contratos é superior aos valores de média dos preços do mercado *spot*, e a outra metade dos valores é inferior. Na tabela 5.12, ambos os preços dos contratos são ligeiramente superiores.

Considerando condições iguais, tal como mencionado anteriormente, para ambos os modelos de contratação, através da análise dos dados das tabelas seguintes é possível verificar quais os ganhos totais do produtor associados a cada contrato estabelecido, bem como efetuar a comparação económica com o fornecimento de energia elétrica com recurso ao mercado *Spot* por parte do produtor.

Tabela 5.13: Comparação económica entre ganhos obtidos no mercado *Spot* e a celebração de Contratos Futuros para períodos semanais.

Período (Semana)	Ganhos <i>Spot</i> (€)	Ganhos Contratos de Futuros (€)	Lucro (€)
27/04/2015 a 03/05/2015	7 900,68	7 268,16	-632,52
05/09/2016 a 11/09/2016	7 620,34	7 113,12	-507,22
19/09/2016 a 25/09/2016	7 304,21	6 980,64	-323,57
09/01/2017 a 15/01/2017	11 480,04	8 777,52	-2 702,52
16/01/2017 a 22/01/2017	13 073,84	12 475,44	-598,40
23/01/2017 a 29/01/2017	13 207,06	10 642,08	-2 564,98
30/01/2017 a 05/02/2017	9 205,16	10 338,48	1 133,32

Analisando os lucros que constam na tabela 5.13, pode-se constatar que a maioria dos contratos celebrados não beneficiaram o agente produtor, havendo perdas em todos eles, com a exceção de um dos contratos, quando comparados com os ganhos que poderiam existir no caso do produtor recorrer ao mercado *Spot* para vender a energia produzida.

Relacionando os valores da tabela 5.13 com os valores da tabela 5.9, o contrato com o preço superior à média praticada no mercado diário foi o único acordo lucrativo para o agente produtor, um lucro de 1 133,32€, todos os outros contratos beneficiaram o agente retalhista participante, com uma perda máxima de 2 702,52€ para o produtor.



Tabela 5.14: Comparação económica entre ganhos obtidos no mercado *Spot* e a celebração de Contratos Futuros para períodos mensais.

<b>Período (Mês)</b>	<b>Ganhos <i>Spot</i> (€)</b>	<b>Ganhos Contratos de Futuros (€)</b>	<b>Lucro (€)</b>
01/01/2016 a 31/01/2016	27 076,00	43 195,44	<b>16 119,44</b>
01/03/2016 a 31/03/2016	20 578,19	32 258,19	<b>11 680,00</b>
01/06/2016 a 30/06/2016	27 559,95	31 739,04	<b>4 179,09</b>
01/07/2016 a 31/07/2016	30 030,04	35 330,40	<b>5 300,36</b>
01/02/2017 a 28/02/2017	34 531,78	40 067,04	<b>5 535,26</b>
01/03/2017 a 31/03/2017	32 656,87	36 782,20	<b>4 125,33</b>
01/04/2017 a 30/04/2017	31 808,16	26 705,52	<b>-5 102,64</b>

Relativamente aos contratos de períodos mensais que constam na tabela 5.14, pode-se constatar que os valores de ganhos dos contratos de futuros para o produtor foram na maioria bastante vantajosos, sendo apenas um dos contratos desfavorável economicamente. Tal como sugerem os valores presentes na tabela 5.10, os contratos com os preços superiores à média dos preços do mercado *Spot* foram lucrativos para o produtor, mas apesar deste fator anteriormente descrito, não foi o contrato com o preço com a variação mais elevada, aquele que apresentou maior lucro entre os contratos mensais.

Dos sete contratos mensais, apenas um deles não foi vantajoso para o produtor, apresentando uma perda de 5 102,64 €, quando comparado com os possíveis ganhos da venda de energia em mercado diário. O contrato mais vantajoso foi o contrato para o mês de Janeiro de 2016, apresentando um lucro de 16 119,44 € na comparação económica entre os dois modelos.

Tabela 5.15: Comparação económica entre ganhos obtidos no mercado *Spot* e a celebração de Contratos Futuros para períodos trimestrais.

<b>Período (Trimestre)</b>	<b>Ganhos <i>Spot</i> (€)</b>	<b>Ganhos Contratos de Futuros (€)</b>	<b>Lucro (€)</b>
01/01/2016 a 31/03/2016	66 688,78	143 520,63	<b>76 831,85</b>
01/04/2016 a 30/06/2016	63 027,37	108 962,40	<b>45 935,03</b>
01/07/2016 a 30/09/2016	92 034,87	105 403,68	<b>13 368,81</b>
01/01/2017 a 31/03/2017	120 402,79	78 513,62	<b>-41 889,17</b>
01/04/2017 a 30/06/2017	103 025,25	76 912,56	<b>-26 112,69</b>
01/07/2017 a 30/09/2017	106 849,48	101 982,72	<b>-4 866,76</b>

## CAPÍTULO 5. O MÓDULO EMS-FC DO SIMULADOR MATREM E OS CASOS DE ESTUDO

A tabela 5.15 apresenta um equilíbrio no que diz respeito ao número de contratos favoráveis e desfavoráveis economicamente. Tal como é possível observar, três dos contratos trimestrais apresentaram lucros vantajosos para o produtor, e os restantes três apresentaram perdas. O contrato para o primeiro trimestre de 2016 apresentou um lucro bastante significativo, 76 831,85 €, sendo o acordo com maior lucro entre os contratos trimestrais, enquanto que o contrato para o primeiro trimestre do ano de 2017 foi o acordo com maior perda comparativamente ao mercado *Spot*, 41 889,17 €.

Tabela 5.16: Comparação económica entre ganhos obtidos no mercado *Spot* e a celebração de Contratos Futuros para períodos trimestrais.

Período (Trimestre)	Ganhos <i>Spot</i> (€)	Ganhos Contratos de Futuros (€)	Lucro (€)
01/01/2016 a 31/12/2016	346 359,53	462 047,28	115 687,75
01/01/2016 a 31/12/2016	346 359,53	465 121,68	118 762,15

Considerando a tabela 5.16, ambos os contratos anuais foram bastante lucrativos para o agente produtor, apresentado ganhos significativos, sendo o maior ganho registado, o valor de 118 762,15 €.

Importa referir que, com base nos dados que constam nas tabelas anteriores, se constata que para períodos similares os ganhos apresentados para a venda de energia em Mercado *Spot* podem variar bastante, o que espelha a flutuação de preços presente neste mercado e o risco ao qual estão expostos todos os agentes intervenientes.

A partir dos dados obtidos nas simulações, e de realizada a análise económica referente aos valores extraídos com recurso ao módulo EMS-FC, pode-se afirmar que o modelo de negociação bilateral, neste caso o contrato de futuros na sua forma padronizada, constitui uma alternativa bastante viável para ambos os agentes intervenientes no acordo, quer seja retalhista ou produtor. Isto porque permite aos agentes negociarem uma determinada *commodity*, neste caso a energia elétrica, de forma a defenderem os seus interesses e diminuindo assim a sua exposição ao risco inerente ao mercado *Spot*, devido à flutuação de preços praticados.

A grande vantagem deste formato assenta nesta proteção à dinâmica imprevisível característica do mercado Diário. Com base nos casos de estudo apresentados no presente documento, é possível afirmar que o maior ou menor lucro obtido por parte dos agentes depende bastante dos preços acordados entre ambos. A negociação e determinação dos preços assume assim um papel preponderante para alcançar um bom acordo económico. Ambos os agentes pretendem celebrar um acordo onde o preço vá de encontro às suas

necessidades e interesses.

Importa reforçar que no [MIBEL](#), o [OMIP](#) publica diariamente preços de referência para todos os contratos que se encontram em negociação. Estes preços de referência serão certamente considerados durante a negociação entre agentes.

Tal como se pode observar nos dados que constam nas tabelas anteriormente apresentadas, os lucros ou perdas alcançados por partes dos agentes são mais significativos para contratos com períodos temporais mais alargados. Um contrato de longa duração pode resultar num acordo muito vantajoso ou muito desvantajoso, dependendo fortemente da fixação do preço determinado no contrato.

Note-se que além da importância elevada da determinação do preço neste modelo de contratação, é necessário ter em conta que a flutuação do preços da eletricidade registada no mercado [MIBEL](#) varia praticamente todos os dias.

Todos os vinte e dois casos de estudo visavam o estudo de contratos em que o fornecimento/receção de energia era feito com a potencia constante de 1MW. As transações efetuadas com recurso ao mercado *Spot* tiveram em consideração tal requisito para ser possível estabelecer uma comparação económica entre os dois modelos de contratação, dada a possibilidade de estabelecer mais contratos de futuros entre os agentes contratantes de forma a transacionarem energia à potência constante que desejarem. Deste modo importa ressaltar que os dados apresentados nas tabelas [5.13](#), [5.14](#), [5.15](#) e [5.16](#) são referentes a um contrato de 1MW e que, no caso de serem negociados mais contratos para obter a potência desejada, os ganhos obtidos pelo agente produtor serão proporcionais ao número de contratos celebrados entre os agentes com condições expressas e preços descritos no início do presente capítulo.

Em suma, cumpre referir que, dos vinte e dois contratos analisados como casos práticos anteriormente apresentados, o agente produtor registou um situação economicamente mais vantajosa em doze desses contratos, mas nos restantes dez casos o agente beneficiado foi o agente retalhista por recorrer a este modelo de contratação de energia elétrica.

## 5.5 Conclusões Gerais

Este capítulo permitiu a apresentação do módulo desenvolvido no âmbito da presente dissertação, revelando as suas principais características e funcionalidades, bem como o foco aplicacional utilizado e baseado no modelo de contratação bilateral padronizado. Foi a apresentada a interface gráfica que o módulo [EMS-FC](#) disponibiliza aos seus utilizadores,

bem como todos os seus elementos e a dinâmica existente para o modelo de negociação.

Após a contextualização do funcionamento do Módulo EMS-FC, foram descritas as considerações gerais tidas em conta para o estudo dos casos práticos, vinte e dois contratos de futuros e todas as suas especificações.

Por fim, foram apresentadas as simulações realizadas e discutidos os resultados experimentais. Com base na análise dos resultados, verificou-se que o agente produtor conseguiu obter uma posição economicamente mais vantajosa utilizando os contratos de futuros face ao recurso do mercado *Spot* em doze dos casos de estudo. Nos restantes dez casos, o agente retalhista beneficiou economicamente com o recurso a este formato de contratação.

Importa referir que o recurso ao modelo de contrato de futuros, tal como outros modelos de contratação bilateral, não expôs os agentes ao risco de variação constante de preços presente no Mercado *Spot*, visto que as posições de benefício poderiam perfeitamente ser diferentes, com as mesmas condições contratuais, mas durante intervalos temporais diferentes, dada a dinâmica imprevisível inerente ao mercado diário.

## CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Este capítulo apresenta as principais conclusões extraídas de todo o trabalho realizado no âmbito da presente dissertação, bem como descreve algumas considerações a ter em conta em possíveis trabalhos futuros com o objetivo de aperfeiçoar o Módulo [EMS-FC](#) e de dar um contributo significativo para um estudo mais aprofundado no domínio da contratação bilateral na sua forma padronizada em mercados liberalizados de energia, particularmente no caso dos contratos de futuros.

### 6.1 Síntese de Resultados

O processo de liberalização do setor elétrico desencadeou a sua reestruturação e levou ao natural desenvolvimento dos mercados de energia elétrica. O fim dos monopólios no setor e a abertura à concorrência provocou um aumento significativo de novas entidades participantes, que proporcionou um nível mais elevado de competitividade, bem como uma melhoria notória nas atividades abertas à concorrência, produção e comercialização de eletricidade.

Abordando a realidade Nacional, a liberalização do sector elétrico português levou a uma maior competitividade com o intuito de proporcionar uma maior transparência a nível de preços e mais benefícios ao consumidor final. Recorde-se que este sector anteriormente assentava numa estrutura vertical.

Esta reestruturação trouxe um conjunto diverso de oportunidades bastante atrativas financeiramente para todos os agentes participantes no sector, visto os agentes consumidores poderem escolher livremente o agente fornecedor que mais se adequa às suas necessidades e interesses.

O aumento do número de entidades participantes no mercado e a maior competitividade no setor originou, de forma natural, uma maior complexidade do sistema elétrico. Esta complexidade desencadeou novos desafios técnicos às entidades responsáveis pelo funcionamento do sistema, tendo em conta que o mercado de energia elétrica apresenta um grau elevado de particularidades derivadas da *commodity* que lá é negociada e transacionada.

Existem dois formatos de comercialização de energia em mercados liberalizados, podendo ser feita com o recurso ao mercado em bolsa, baseado em licitações submetidas por agentes participantes, ou com recurso à celebração de contratos bilaterais. Estes dois formatos permitem que os agentes participante no mercado tenham ao seu dispor um vasto leque de opções para a contratação de eletricidade.

O mercado diário assenta a sua estrutura na relação existente entre a oferta e a procura, ou seja, entre a produção e o consumo de energia elétrica, e esta relação origina um flutuação e imprevisibilidade de preços praticado no mercado em bolsa. Este risco financeiro levou a que muitos agentes procurassem opções que permitissem uma redução a essa exposição, optando pela negociação bilateral em mercados de balcão (OTC).

No MIBEL, o mercado a prazo gerido pelo OMIP disponibiliza um conjunto de alternativas de contratos bilaterais, de forma a possibilitar aos agentes contratantes não se sujeitarem ao risco financeiro. De entre estas alternativas salientam-se os contratos

padronizados, nomeadamente os contratos de Futuros.

O objetivo principal desta dissertação centrou-se no estudo aprofundado do formato padronizado de contratação bilateral no [MIBEL](#), mais precisamente nos contratos de futuros, de forma a analisar a dinâmica inerente a este modelo e os benefícios quando comparados com outros modelos de comercialização de energia. A padronização dos termos é uma característica fundamental para este tipo de contrato de futuros. Esta característica aumenta a liquidez, permitindo que as partes troquem e abandonem com bastante facilidade as suas posições no contrato.

Para além do estudo deste modelo de contratação, o Contrato de Futuros, foi também desenvolvido no âmbito da presente dissertação um módulo baseado em agentes computacionais autónomos. O recurso a este tipo de tecnologia deve-se à crescente importância que estas ferramentas assumem no apoio à decisão da contratação em mercados de energia.

De seguida foi apresentado o módulo do simulador desenvolvido, [EMS-FC](#), descrevendo o seu funcionamento, todas as suas potencialidades e a sua interface gráfica. Importa reforçar que o módulo possibilita aos seus utilizadores todas as potencialidades necessárias para recriar uma negociação bilateral para todos os agentes intervenientes no mercado, com recurso a contratos padronizados, assumindo-se como uma ferramenta bastante útil para o apoio à decisão em uma negociação real de energia elétrica.

De forma a analisar todas as vantagens e desvantagens do modelo de contratação, bem como compreender melhor o seu funcionamento, foram criados vinte e dois casos de estudo utilizando dados reais disponibilizados pelo [OMIP](#). Com o recurso à utilização das ferramentas do Módulo [EMS-FC](#) foram estabelecidos vinte e dois contratos entre um agente produtor e um agente retalhista. Estes contratos foram agrupados pelo seu tipo de maturidade do período de entrega, extraíndo-se de seguida os resultados para fazer uma comparação económica com a contratação de energia elétrica com o recurso ao mercado diário do [MIBEL](#).

Analisando os resultados obtidos dos vinte e dois casos práticos, verificou-se a importância do preço e da sua negociação para serem atingidos bons resultados. No sentido de estudar os ganhos obtidos pelo produtor, pode-se afirmar que em doze desses contratos o agente vendedor foi beneficiado pela utilização dos contratos de futuros. Por outro lado, nos restantes dez casos, foi o agente retalhista a sair beneficiado com o recurso aos contratos padronizados.

## 6.2 Desenvolvimento Futuro

Com o intuito de aprofundar o estudo do modelo de contratação estudado durante o desenvolvimento do presente documento, tal como aperfeiçoar o desempenho do módulo do simulador desenvolvido no âmbito do projeto [MATREM](#) e muni-lo de mais funcionalidades, são apresentadas algumas sugestões para trabalho futuro. De seguida, apresentam-se os seguintes tópicos:

- Aperfeiçoar a dinâmica de negociação deste modelo, munindo os agentes de capacidade de análise do mercado e de aprendizagem, de forma a modelar a sua estratégia de participação no mercado de acordo com os seus interesses e necessidades;
- Estudar o impacto da participação de outros tipos de agentes no mercado a prazo. A participação de agente especuladores, ou seja, agentes intermediários como *brokers* e *dealers*, poderá trazer fluidez e liquidez a este mercado, sendo interessante analisar o contributo deste agentes para o funcionamento da contratação bilateral;
- Analisar a comparação entre o Contrato de Futuros e os restantes contratos bilaterais. Na presente dissertação foi realizado uma comparação a nível económico com o recurso ao mercado diário. No seguimento da compreensão das potencialidades e do funcionamento deste tipo de contratação, seria interessante um estudo exaustivo de forma a estabelecer um comparativo económico entre o modelo do contrato de futuros e outros contratos bilaterais, nomeadamente o contrato *forward*, o contrato por diferenças ([CfD](#)) e contrato de Opções;
- Analisar o impacto da utilização deste tipo de modelo de negociação para um produtor de energia eólica, tendo em conta as altas perturbações inerentes a este tipo de produção, e com base no cálculo de previsões eólicas adaptadas à sua participação no mercado a prazo.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] A. T. M. de Amorim Vasconcelos Carvalho. “A Negociação no Mercado a Prazo do MIBEL”. Tese de Mestrado. Faculdade Direito, Universidade Nova Lisboa, 2015.
- [2] E. Oliveira, K. Fischer e O. Stepankova. “Multi-agent systems: which research for which applications”. Em: *Robotics and Autonomous Systems* (1999), pp. 91 –106.
- [3] F. Lopes. “MATREM: An Agent-Based Simulation Tool for Electricity Markets”. Em: *Electricity Markets with Increasing Levels of Renewable Generation: Structure, Operation, Agent-based Simulation, and Emerging Designs*. Vol. 144. SSDC. Springer, 2018, pp. 189–225. DOI: [10.1007/978-3-319-74263-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74263-2_8).
- [4] F. Lopes e H. Coelho. “Electricity Markets and Intelligent Agents Part II: Agent Architectures and Capabilities”. Em: *Electricity Markets with Increasing Levels of Renewable Generation: Structure, Operation, Agent-based Simulation, and Emerging Designs*. Ed. por F. Lopes e H. Coelho. Vol. 144. SSDC. Springer, 2018, pp. 49–77. DOI: [10.1007/978-3-319-74263-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74263-2_3).
- [5] F. Lopes, J. Sá e J. Santana. “Renewable Generation, Support Policies and the Merit Order Effect: A Comprehensive Overview and the Case of Wind Power in Portugal”. Em: *Electricity Markets with Increasing Levels of Renewable Generation: Structure, Operation, Agent-based Simulation, and Emerging Designs*. Vol. 144. SSDC. Springer, 2018, pp. 227–263. DOI: [10.1007/978-3-319-74263-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74263-2_9).
- [6] F. Lopes e H. Algarvio. “Demand Response in Electricity Markets: An Overview and a Study of the Price-Effect on the Iberian Daily Market”. Em: *Electricity Markets with Increasing Levels of Renewable Generation: Structure, Operation, Agent-based Simulation, and Emerging Designs*. Vol. 144. SSDC. Springer, 2018, pp. 265–303. DOI: [10.1007/978-3-319-74263-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74263-2_10).
- [7] F. Lopes, H. Algarvio e J. Santana. “Agent-Based Simulation of Electricity Markets: Risk Management and Contracts for Difference”. Em: *Agent-Based Modeling of Sustainable Behaviors*. Springer International Publishing, 2017. Cap. 10, pp. 207–225. DOI: [10.1007/978-3-319-46331-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46331-5_10).
- [8] H. Algarvio, F. Lopes e J. Santana. “Multi-agent retail energy markets: Bilateral contracting and coalitions of end-use customers”. Em: *12th International Conference on the European Energy Market (EEM 2015)*. IEEE. 2015, pp. 1–5.

- [9] J. P. T. Saraiva, J. L. P. D. Silva e M. T. P. de Leão. *Mercados de Electricidade - Regulação e tarifação de uso das redes*. FEUP edições, 2002.
- [10] F. Azevedo. “Gestão do Risco em Mercados Competitivos de Electricidade: Previsão de Preços e Optimização do Portfolio de Contratos”. Tese de Doutoramento. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2007.
- [11] EDP-Distribuição. *A liberalização*. PERFIL [WWW]. EDP. Acedido em Março 2018. URL: <https://www.edpdistribuicao.pt/pt/mudancaComercializador/mercadoElectrico/Pages/aLiberalizacao.aspx>.
- [12] EDP. *Liberalização do mercado de eletricidade e gás*. PERFIL [WWW]. EDP. Acedido em Março 2018. URL: <https://www.edp.pt/pt/particulares/informacoesuteis/Pages/ALiberalizacao.aspx>.
- [13] J. P. S. Catalão. “Novas Metodologias de Optimização em Sistemas de Energia Hidrotérmicos”. Tese de Mestrado. Universidade da Beira Interior, 2006.
- [14] ERSE. *Descrição do Funcionamento da ERSE*. PERFIL [WWW]. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Acedido em Março 2018. URL: <http://www.erse.pt/pt/aerse/Paginas/default.aspx>.
- [15] V. Santos. “A Liberalização do Mercado Energético e o interesse dos Consumidores.” Em: *1º Congresso Lusófono sobre Energia e Ambiente*. (2009).
- [16] J. L. P. Gonçalves. “Modelos para a Comercialização de Energia Elétrica em Ambiente de Mercado”. Tese de Mestrado. Instituto Politécnico de Coimbra, 2013.
- [17] M. Shahidehpour, H. Yamin e Z. Li. *Market operations in electric power systems: forecasting, scheduling, and risk management*. John Wiley & Sons, 2002.
- [18] C. Ilco. “Negociação Bilateral em Mercados de Energia Elétrica Multi-Agente com Participação Activa dos Consumidores”. Tese de Mestrado. ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.
- [19] NORDPOOL. *About us. History*. PERFIL [WWW]. NORDPOOL. Acedido em Março 2018. URL: <https://www.nordpoolgroup.com/About-us/History/>.
- [20] B. R. R. Pereira. “Contratos Bilaterais em Mercados Multi-Agente de Energia Elétrica: Protocolo de Ofertas Alternadas”. Tese de mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2011.
- [21] J. P. S. Paiva. *Redes de Energia Elétrica - Uma Análise Sistémica*. 2ª Edição. Ed. por IST. IST PRESS, 2002.
- [22] F. D. S. de Sousa. “Comercialização Bilateral de Energia em Mercados Liberalizados: Contratos por Diferenças e Gestão de Risco”. Tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico, 2014.
- [23] J. P. Peixoto. *Futuros e Opções*. McGraw-Hill, 1995.

- 
- [24] P. M. V. Soares. “Análise Numérica dos Resultados do Mercado de Electricidade em Portugal inserido no Mercado Ibérico de Electricidade MIBEL do ano de 2008”. Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia do Porto, 2009.
- [25] J. E. Antunes. *Os Instrumentos Financeiros*. Almedina, 2009.
- [26] P. Bajpai e S. N. Singh. ““Electricity Trading in Competitive Power Market: An Overview and Key Issues”. Em: *International Conference on Power Systems* (2004), 571–576.
- [27] MIBEL. *Construção e Desenvolvimento*. Perfil [WWW]. ERSE. Acedido em Março 2018. URL: <http://www.mibel.com/index.php?mod=pags&mem=detalle&relmenu=73&relcategoria=1027&idpag=68>.
- [28] OMICLEAR. *Descrição do MIBEL*. Perfil [WWW]. OMICLEAR. Acedido em Março 2018. URL: <http://www.omiclear.pt/OMIClear/MIBEL/tabid/140/language/pt-PT/Default.aspx>.
- [29] OMIP. *Grupo OMI & MIBEL*. Perfil [WWW]. OMIP. Acedido em Março 2018. URL: <https://www.omip.pt/pt-pt/content/grupo-omi-mibel>.
- [30] OMICLEAR. *Perfil da OMIClear*. Perfil [WWW]. OMICLEAR. Acedido em Março 2018. URL: <http://www.omiclear.pt/OMIClear/TermsOfUse/tabid/131/language/pt-PT/Default.aspx>.
- [31] ERSE. *Descrição do Mercado Grossista de Electricidade*. Perfil [WWW]. ERSE. Acedido em Março 2018. URL: <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/mercadoeelectricidade/Paginas/default.aspx>.
- [32] ERSE. *Funcionamento do Mercado Diário e Intradiário*. Perfil [WWW]. ERSE. Acedido em Março 2018. URL: <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/mercadoeelectricidade/mercadodiario/Paginas/default.aspx>.
- [33] ERSE. *Funcionamento do Mercado a Prazo*. Perfil [WWW]. ERSE. Acedido em Março 2018. URL: <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/mercadoeelectricidade/mercadoaprazo/Paginas/default.aspx>.
- [34] MIBEL. *Descrição do Funcionamento do MIBEL*. Perfil [WWW]. MIBEL. Acedido em Março 2018. URL: [http://www.erse.pt/pt/mibel/conselhodereguladores/Documents/Estudo\\_MIBEL\\_PT.pdf](http://www.erse.pt/pt/mibel/conselhodereguladores/Documents/Estudo_MIBEL_PT.pdf).
- [35] D. Vidigal. “Comercialização de Energia em Mercados em Bolsa: Simulador Multiagente e Análise do Impacto da Geração Variável nos Preços Diários”. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2015.
- [36] M. Wooldridge e N. R. Jennings. “Intelligent agents: theory and practice”. Em: *The Knowledge Engineering Review* (1995), 115–152.
- [37] B. H. Casillo e N. Sant’Anna. “Criação de Agentes para Apoio a Ambientes de Engenharia de Software.” Em: *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE* (2004).

- [38] F. L. Bellifemine, G. Caire e D. Greenwood. *Developing Multi-Agent Systems with JADE (Wiley Series in Agent Technology)*. John Wiley & Sons, 2007.
- [39] Z. Zhou, W. K. V. Chan e J. H. Chow. “Agent-based simulation of electricity markets: a survey of tools”. Em: *Artificial Intelligence Review* 28(4) (2007), pp. 305–342.
- [40] L. A. B. Ramos. “A gestão do risco associado à negociação de energia eléctrica através de contratos bilaterais e mercado spot.” Tese de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2011.
- [41] I. Praça, C. Ramos, Z. Vale e M. Cordeiro. “MASCEM: a multiagent system that simulates competitive electricity markets”. Em: *IEEE Intelligent Systems* 18(6) (2003), pp. 54–60.
- [42] G. Santos, T. Pinto, Z. Vale, I. Praça e H. Morais. “Virtual Power Players Internal Negotiation and Management in MASCEM”. Em: *Proceedings of 7th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems* (2013).
- [43] M. Amin. “Restructuring the Electric Enterprise”. Em: *Electricity Pricing in Transition*. Springer US, 2002, pp. 27–50. DOI: [10.1007/978-1-4615-0833-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0833-5_3).
- [44] F. Lopes, H. Algarvio e H. Coelho. “Agent-based simulation of retail electricity markets: Bilateral trading players”. Em: *24th Database and Expert Systems Applications (DEXA 2013)*. IEEE. 2013, p. 189–193.
- [45] OMIP. *About Us - Corporate Governance*. PERFIL [WWW]. OMIP. Acedido em Março 2018. URL: <https://www.omip.pt/en/content/corporate-governance>.
- [46] S.-J. Deng e S. S. Oren. “Electricity derivatives and risk management”. Em: *Energy* 31(6) (2006), pp. 940–953.
- [47] C. Pires. *Mercados e Investimentos Financeiros. 2ª Edição*. Escolar Editora, 2008.
- [48] J. Hull. *Futures and other Derivatives. 7th Edition*. Pearson Education International, 2009.
- [49] J. Estevão. “As Especificações dos Futuros de Electricidade - Aplicação ao Mercado Ibérico”. Tese de Mestrado. Instituto Superior de Economia e Gestão, 2011.
- [50] M. Cao, A. Li e J. Wei. *Weather derivatives: A new class of financial instruments*. Rel. téc. University of Toronto, Ontario, Canada, 2004.



## CASO DE ESTUDO: MERCADO *Spot*

Tabela I.1: Dados dos Preços praticados no Mercado *Spot* para as Semanas indicadas.

Período	Número de Horas	Média de Preços <i>Spot</i> (€/MWh)	Ganhos (€)
27/04/2015 a 03/05/2015	168	47,03	7 900,68
05/09/2016 a 11/09/2016	168	45,36	7 620,34
19/09/2016 a 25/09/2016	168	43,48	7 304,21
09/01/2017 a 15/01/2017	168	68,33	11 480,04
16/01/2017 a 22/01/2017	168	77,82	13 073,84
23/01/2017 a 29/01/2017	168	78,61	13 207,06
30/01/2017 a 05/02/2017	168	54,79	9 205,16

Tabela I.2: Dados dos Preços praticados no Mercado *Spot* para os Meses indicados.

Período	Número de Horas	Média de Preços <i>Spot</i> (€/MWh)	Ganhos (€)
01/01/2016 a 31/01/2016	744	36,39	27 076,00
01/03/2016 a 31/03/2016	743	27,66	20 578,19
01/06/2016 a 30/06/2016	720	38,28	27 559,95
01/07/2016 a 31/07/2016	744	40,36	30 030,04
01/02/2017 a 28/02/2017	672	51,39	34 531,78
01/03/2017 a 31/03/2017	743	43,95	32 656,87
01/04/2017 a 30/04/2017	720	44,18	31 808,16

Tabela I.3: Dados dos Preços praticados no Mercado *Spot* para os Trimestres indicados.

<b>Período</b>	<b>Número de Horas</b>	<b>Média de Preços <i>Spot</i> (€/MWh)</b>	<b>Ganhos (€)</b>
01/01/2016 a 31/03/2016	2183	30,54	66 688,78
01/04/2016 a 30/06/2016	2184	28,86	63 027,37
01/07/2016 a 30/09/2016	2208	41,68	92 034,87
01/01/2017 a 31/03/2017	2159	55,77	120 402,79
01/04/2017 a 30/06/2017	2184	47,17	103 025,25
01/07/2017 a 30/09/2017	2208	48,39	106 849,48

Tabela I.4: Dados dos Preços praticados no Mercado *Spot* para o ano de 2016.

<b>Período</b>	<b>Número de Horas</b>	<b>Média de Preços <i>Spot</i> (€/MWh)</b>	<b>Ganhos (€)</b>
01/01/2016 a 31/12/2016	8784	39,44	346 359,53